Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde

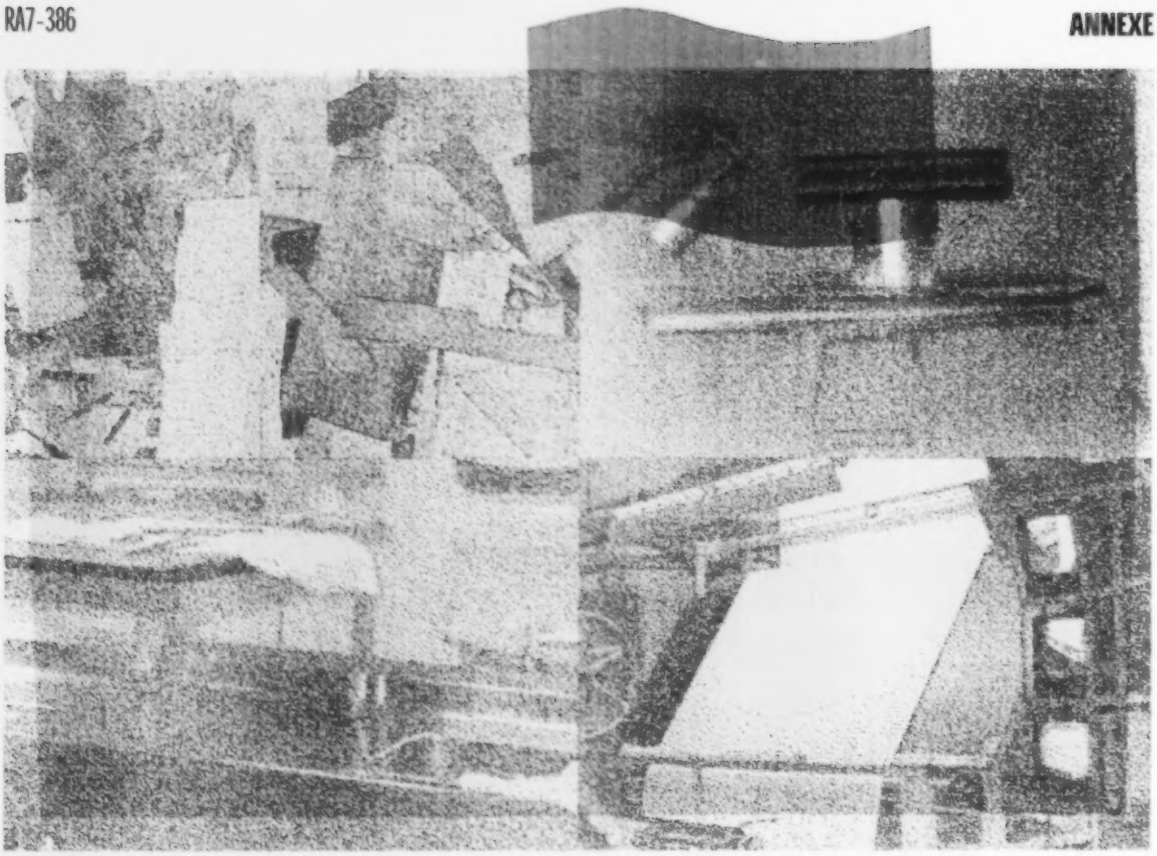
Fonderies

ÉTUDES ET RECHERCHES

Nicole Goyer
Charles Beaudry
Denis Bégin
Michèle Bouchard
Gaétan Carrier
Olivia Gely
Michel Gérin
Pierre Lefebvre
Claudia Lucia Lobo Gutierrez
Nolwenn Noisel
Guy Perrault

RA7-386

ANNEXE



irsst

105-06318/

Solidement implanté au Québec depuis 1980, l'Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (IRSST) est un organisme de recherche scientifique reconnu internationalement pour la qualité de ses travaux.

NOS RECHERCHES
travaillent pour vous !

MISSION

- Contribuer, par la recherche, à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles ainsi qu'à la réadaptation des travailleurs qui en sont victimes.
- Offrir les services de laboratoires et l'expertise nécessaires à l'action du réseau public de prévention en santé et en sécurité du travail.
- Assurer la diffusion des connaissances, jouer un rôle de référence scientifique et d'expert.

Doté d'un conseil d'administration paritaire où siègent en nombre égal des représentants des employeurs et des travailleurs, l'IRSST est financé par la Commission de la santé et de la sécurité du travail.

POUR EN SAVOIR PLUS...

Visitez notre site Web ! Vous y trouverez une information complète et à jour. De plus, toutes les publications éditées par l'IRSST peuvent être téléchargées gratuitement.
www.irsst.qc.ca

Pour connaître l'actualité de la recherche menée ou financée par l'IRSST, abonnez-vous gratuitement au magazine *Prévention au travail*, publié conjointement par l'Institut et la CSST.
Abonnement : 1-877-221-7046

Dépôt légal
Bibliothèque nationale du Québec
2004

IRSST - Direction des communications
505, boul. De Maisonneuve Ouest
Montréal (Québec)
H3A 3C2
Téléphone : (514) 288-1551
Télécopieur : (514) 288-7636
publications@irsst.qc.ca
www.irsst.qc.ca

• Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail, novembre 2004

Impacts d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde

Fonderies

ÉTUDES ET RECHERCHES

Nicole Goyer[1], Charles Beaudry[2], Denis Begin[2], Michèle Bouchard[2], Gaétan Carrier[2], Olivia Gely[3], Michel Gérin[2], Pierre Lefebvre[3], Claudia Lucia Lobo Gutierrez[2], Nolwenn Noisel[2] et Guy Perrault[1]

[1]Hygiène du travail, IRSST
[2]Santé environnementale et santé au travail, Université de Montréal
[3]Sciences économiques, Université du Québec à Montréal

ANNEXE

Cliquez recherche
www.irsst.qc.ca

Cette publication est disponible en version PDF sur le site Web de l'IRSST.

Cette étude a été financée par l'IRSST. Les conclusions et recommandations sont celles des auteurs.

CONFORMÉMENT AUX POLITIQUES DE L'IRSST

Les résultats des travaux de recherche publiés dans ce document ont fait l'objet d'une évaluation par des pairs.

TABLE DES MATIÈRES

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE LA RECHERCHE 5
2. DESCRIPTION DU SECTEUR 5
3. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS 7
3.1 Procédés de fabrication 7
3.1.1 Généralités 7
3.1.2 Les procédés de moulage et noyautage 10
3.1.3 Matériaux de moulage et noyautage 10
3.2 Postes et emplois normalisés 12
4. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : DONNÉES DE LITTÉRATURE 14
4.1 Littérature scientifique 14
4.2 Base de données 18
5. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : MESURES SUR LE TERRAIN PAR L'IRSST 22
6. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : AUTRES MESURES SUR LE TERRAIN 22
7 MATRICES D'EXPOSITION 23
7.1 Construction des matrices 23
7.2 Résultats 24
7.2.1 Détermination du nombre d'établissements et du nombre de travailleurs 24
7.2.2 Distribution des travailleurs par emploi normalisé 25
7.2.3 Distribution relative par plage d'exposition pour l'ensemble du secteur 26
7.2.4 Matrice emploi-exposition 30
7.2.5 Matrice établissement-exposition 31
8. SOURCES D'EXPOSITION 32
9. CORRECTIFS ET PRÉVENTION 32
10. IMPACTS SUR LA SANTÉ 33
10.1 Établissement de la relation entre l'exposition et les effets sur la santé 33
10.2 Application de la relation au secteur des fonderies 35
11. IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES 37
12. CONCLUSIONS 38
13. RÉFÉRENCES 39
APPENDICE 1 : Équivalence entre les systèmes de classification des activités économiques 45
APPENDICE 2 : Demande d'expertise 46

APPENDICE 3 : Rapport d'expertise du Centre intégré de fonderie et de métallurgie.....48
APPENDICE 4 : Méthodologie pour la construction des matrices.....53

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Description des classes d'activités économiques retenues.....6
Tableau 2 : Classification des fonderies par type d'alliage.....8
Tableau 3 : Classement des procédés de moulage et noyautage selon le mode de prise.....10
Tableau 4 : Classement des professions normalisées.....12
Tableau 5 : Classement des postes de travail normalisés.....13
Tableau 6 : Synthèse de valeurs d'exposition 8h sans égard au métal coulé.....14
Tableau 7 : Synthèse des valeurs d'exposition 8h pour les fonderies de fer.....16
Tableau 8 : Synthèse des valeurs d'exposition 8h pour les fonderies d'aluminium.....17
Tableau 9 : Synthèse des mesures de la base de données NEBD de 1986 à 2000.....19
Tableau 10 : Synthèse des mesures de la base de données IMIS de 1980 à 2001.....20
Tableau 11 : Niveaux d'exposition en ppm mesurés dans les fonderies du Québec par des CLSC.....22
Tableau 12 : Nombre d'établissements et de travailleurs québécois dans les fonderies avec un potentiel d'exposition au formaldéhyde.....25
Tableau 13 : Pourcentage des travailleurs des fonderies du Québec dans chaque catégorie de profession.....25
Tableau 14 : Distribution des travailleurs des fonderies du Québec dans chaque catégorie de profession.....26
Tableau 15 : Exposition des travailleurs.....27
Tableau 16 : Exposition des travailleurs après transformation des données.....28
Tableau 17 : Distribution en pourcentage des travailleurs des fonderies par plages de concentrations.....28
Tableau 18 : Distribution en pourcentage des travailleurs des fonderies par plages de concentrations suite au processus d'expertise.....30
Tableau 19 : Distribution du nombre de travailleurs de fonderies par plages de concentrations..31
Tableau 20 : Distribution des établissements par plages de concentrations.....31
Tableau 21 : Pourcentage moyen théorique de travailleurs susceptibles de présenter des effets irritatifs modérés ou sévères aux yeux, au nez et à la gorge selon leur exposition au formaldéhyde.....34
Tableau 22 : Nombre théorique de travailleurs du secteur des fonderies susceptibles de présenter des effets irritatifs en fonction de la concentration.....36

Tableau 23 : Bref portrait économique des fonderies au Canada et au Québec en 2001 37

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma de la fabrication de pièces de fonderie 9

LISTE DES ACRONYMES, SYMBOLES OU ABBRÉVIATIONS

CAEQ : classification des activités économiques du Québec

CLSC : Centre local de services communautaires

CRIQ : Centre de recherche industrielle du Québec

CSST : Commission de la santé et de la sécurité au travail du Québec

CTI : classification type des industries

IRSST : Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et sécurité du travail du Québec

mg /m^3 : milligramme par mètre cube d'air

OSHA : Occupational Safety and Health Administration

P : valeur d'exposition plafond

ppm = partie par million

SCIAN : système de classification des industries de l'Amérique du Nord

StatCan : Statistique Canada

VEA : valeur d'exposition admissible

VEMP : valeur d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures

1. CONTEXTE ET OBJECTIF DE LA RECHERCHE

Le comité paritaire 3.33.1 de la Commission de la santé et sécurité du travail (CSST), chargé de la révision de l'Annexe 1 du *Règlement sur la santé et la sécurité du travail,* procède aux modifications du règlement par l'établissement de consensus sur chacun des sujets discutés. Dans certains cas, les membres du comité souhaitent disposer d'une meilleure connaissance des impacts de leurs décisions sur la santé et la sécurité des travailleurs, sur la facilité ou la difficulté technique d'entériner ces modifications réglementaires ainsi que sur le contexte socio-économique des industries et des organismes québécois qui sont assujettis à ces modifications. L'abaissement de la valeur d'exposition admissible du formaldéhyde est un de ces cas. La CSST a donc demandé à l'IRSST d'évaluer l'impact socio-économique et sanitaire d'un tel abaissement.

Globalement, le projet vise à évaluer l'impact d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible (VEA) actuelle pour le formaldéhyde, de type plafond située à 2 ppm, vers une VEA plafond ou moyenne pondérée (VEMP) de 1, 0,75 ou 0,3 ppm. Cet objectif comprend une étude des impacts tant sanitaires que socio-économiques. La poursuite de l'objectif global a nécessité la rencontre de divers objectifs spécifiques tels que l'évaluation de l'exposition des travailleurs et l'élaboration de matrices établissement-exposition et emploi-exposition menant à l'évaluation des impacts. L'élaboration des matrices a consisté à élaborer, pour l'ensemble des situations potentielles d'exposition au formaldéhyde, une base de données reliant les caractéristiques professionnelles (secteur, profession, poste) aux procédés et aux données d'exposition disponibles. Cette base de données a servi aux experts à établir les profils quantitatifs d'exposition en fonction des effectifs sous la forme de la matrice secteurs d'activité économique/exposition, et à recueillir les données qualitatives requises pour les travaux des toxicologues et des économistes.

La considération des possibilités de substitution, de modifications de procédés et la description des postes de travail au sein de matrices établissement-exposition et emploi-exposition, ajoutent des éléments aux évaluations d'impacts socio-économique et sanitaire et tentent de dégager les paramètres de la maîtrise de l'exposition.

2. DESCRIPTION DU SECTEUR

Le secteur des Fonderies a été choisi comme prioritaire (groupe 1) sur la base des travaux de l'organisme américain Occupational Safety and Health Administration (OSHA) effectués durant les années 80 pour réviser leur norme d'exposition professionnelle au formaldéhyde. La priorisation de ce secteur a été confirmée par l'étude préliminaire de l'actuelle équipe de recherche (1).

Le secteur « Fonderies » est un sous-ensemble des établissements du grand Groupe 29 « Industries de première transformation des métaux » de la CAEQ (2). La correspondance entre les systèmes de classification des activités économiques de cette annexe est présentée à l'appendice 1 (3-4). Les classes industrielles suivantes de la CAEQ ont été exclues parce qu'elles ne contiennent pas d'activités industrielles assimilables aux fonderies, c'est-à-dire des industries fabriquant des pièces moulées :

- 2911 – Industrie des ferro-alliages
- 2919 – Autres industries sidérurgiques
- 2921 – Industrie des tubes et des tuyaux d'acier
- 2951 – Industrie de la production d'aluminium de première fusion
- 2959 – Autres industries de la fonte et de l'affinage de métaux non ferreux
- 2961 – Industrie du laminage de l'aluminium

Alors que les classes 2912 et 2941 ne contiennent que des activités de moulage, les autres classes retenues (2962, 2971 et 2999) pour cette annexe contiennent également des activités telles le laminage, l'extrusion et le forgeage qui ne sont pas strictement des activités de fonderies.

Comme l'explique la section suivante, seuls les procédés impliquant la coulée de métal dans des moules fabriqués à base d'un mélange de résine et de matériaux réfractaires génèrent des émissions de formaldéhyde. La sélection des entreprises discutée à la section 7 est donc faite en utilisant ce critère. Le tableau 1 décrit les classes CAEQ retenues.

Tableau 1 : Description des classes d'activités économiques retenues

CLASSE CAEQ	DESCRIPTION	NOTES EXPLICATIVES
2912 Fonderies d'acier	Fabrication de moulages en acier.	
2941 Fonderies de fer	Fabrication de pièces moulées de fer.	
2962* Industrie du moulage et de l'extrusion de l'aluminium	Fabrication de tubes, de tuyaux en aluminium et de pièces moulées en aluminium, à l'exclusion du moulage sous pression.	Les établissements visés dans cette annexe sont ceux qui font ces produits par procédé de moulage seulement.
2971* Industrie du laminage, du moulage et de l'extrusion du cuivre et de ses alliages	Fabrication de profilés et de moulages en cuivre ou en alliage de cuivre, à l'exclusion du moulage sous pression.	Les établissements visés dans cette annexe sont ceux qui font ces produits par procédé de moulage seulement.
2999*	Transformation de métaux non ferreux,	Les établissements visés dans

CLASSE CAEQ	DESCRIPTION	NOTES EXPLICATIVES
Autres industries du laminage, du moulage et de l'extrusion de métaux non ferreux	à l'exception de l'aluminium et du cuivre en moulage, profilés ou feuillards roulés. Ceci inclut le moulage sous pression de tous les métaux non ferreux, y compris l'aluminium et le cuivre et la récupération des déchets de métaux non ferreux.	cette annexe sont ceux qui font ces produits par procédé de moulage seulement à l'exclusion du moulage sous pression.

* : Indique que les établissements concernés par cette annexe sont un sous-ensemble des établissements visés par cette classe économique

3. DESCRIPTION DES PROCÉDÉS

La description des procédés est basée sur une revue systématique de la littérature technique.

3.1 Procédés de fabrication

On entend généralement par fonderie un établissement où l'on coule du métal fondu dans un moule pour obtenir un produit ou une pièce de forme et de dimension précise; le moule peut contenir un noyau qui détermine les dimensions de n'importe quelle cavité interne dans le produit final (5). Pour les fins de cette annexe, la coulée de lingots de métal n'est pas une fonderie.

3.1.1 Généralités

On peut classer les fonderies de plusieurs façons (5):

- selon leur secteur d'activité :
  - Art et ornement,
  - Pièces unitaires, d'outillage ou de petite série
  - Production de moyennes et grandes séries.
- Selon leur niveau d'intégration :
  - Les fonderies intégrées très spécialisées (comme celles des producteurs automobiles
  - Les fonderies autonomes (selon les modèles des clients)

Le tableau 2 (5) présente une autre classification des fonderies, celle selon la nature des alliages avec des exemples de pièces produites. Il est facile de constater que les classes de la CAEQ sont construites selon ce modèle à l'exception des alliages de magnésium qui font partie des alliages divers.

Tableau 2 : Classification des fonderies par type d'alliage

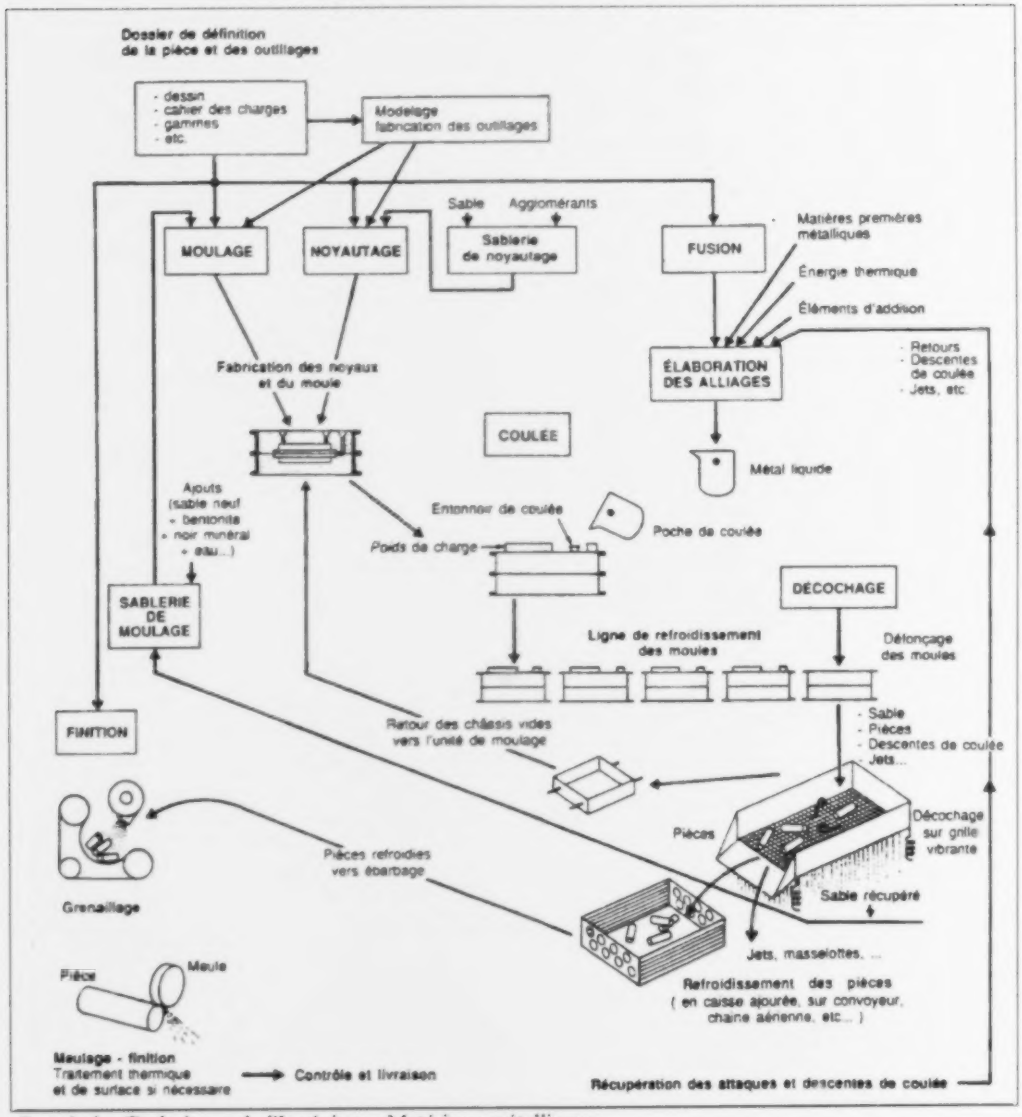
Alliages		Exemples de produits fabriqués
Métaux ferreux	Aciers moulés	• Cage verticale de laminoir
	Fontes Grises GS (sphéroïdes de graphite) Malléables	• Appareils de chauffage, de cuisine, sanitaires • Tuyaux, canalisations, raccords • Pièces de véhicules
Métaux non ferreux	Alliages légers (aluminium, magnésium)	• Culasse de moteur d'automobile • Roue en alliage léger
	Alliages de cuivre	• Cloche en bronze
	Alliages divers (zinc, nickel, plomb,...)	• Aube de distributeur de turbine en alliage de nickel • Pince à découper en alliage de zinc

L'encyclopédie de sécurité et de santé au travail (6) résume ainsi les étapes de fabrication d'une pièce dans une fonderie :

- La préparation du modèle de la pièce que l'on veut fabriquer
- La fabrication du moule et des noyaux et l'assemblage du moule
- La fusion et l'affinage du métal
- La coulée du métal dans le moule
- Le refroidissement de la pièce moulée
- Le démoulage et le dénoyautage (décochage)
- Le dessablage et l'ébarbage.

La figure 1 (7) propose une représentation schématique de ces différentes étapes de production.

Figure 1 : Schéma de la fabrication de pièces de fonderie



Extrait des Techniques de l'Ingénieur - Matériaux métalliques

C'est la nature du moule et du noyau qui influence principalement le niveau d'exposition des travailleurs au formaldéhyde. Certains procédés de fonderies peuvent à priori être exclus comme source d'exposition au formaldéhyde; lorsqu'on coule du métal fondu dans un moule métallique où il n'y a aucune matière organique, comme dans le moulage sous pression ou celui par forgeage liquide (8), il ne peut y avoir émission de formaldéhyde. Dans une situation intermédiaire le moule peut être métallique mais contenir un noyau en sable lié avec de la

matière organique. Lorsque le moule et le noyau sont faits de sable lié avec une matière organique, le risque s'accroît et lorsque cette matière organique contient une résine à base de formaldéhyde, on obtient la situation la plus à risque.

3.1.2 Les procédés de moulage et noyautage

Les mouleurs de pièces métalliques disposent de nombreux procédés de fabrication des moules et des noyaux ; le choix de l'un ou l'autre est lié entre autres à la forme et la grosseur de la pièce. Essentiellement il s'agit de placer sable et liant dans un modèle, de faire durcir le tout et d'enlever le modèle. Il est utile de structurer ces types de procédés de façon à mettre en évidence ceux pouvant entraîner des expositions au formaldéhyde. Il y a plusieurs façons de classer les procédés de moulage et de noyautage : apparence physique des sables, état physique des liants, vitesse de prise ou mode de prise. Le tableau 3 présente le classement des procédés de moulage et noyautage au sable le plus utilisé dans la littérature (8, 9, 10, 11, 12), celui basé sur le mode de prise. La liste des liants n'est pas complète mais ceux présentés sont séparés selon qu'ils sont des liants minéraux ou organiques; c'est dans l'utilisation de ces derniers où l'on retrouve un potentiel d'exposition aux résines à base de formaldéhyde. Les types de résines entre parenthèses indiquent seulement qu'elles sont présentes dans la formulation sans la spécifier.

Tableau 3 : Classement des procédés de moulage et noyautage selon le mode de prise

Sables sans prise	**Sables - Durcissement thermique**	**Sables - Durcissement chimique**		**Sables - prise physique (sans liant)**
		Autodurcissants	**Prise par gazage (Cold Box)**	
Liants minéraux seulement Silico-argileux Sable à vert	Liants organiques Croning (PF*) Boîte chaude (UF*, PF*) Boîte tiède (UF*)	Liants organiques Alphaset (PF*) Furanniques (PF*, UF*, RF*) Phénoliques (PF*) Pepset (PF*) Alkydes Liants minéraux Ciment Silicates de soude - Sables liquides Plâtre	Liants organiques Betaset (PF*) Ashland (PF*) Hardox (PF*) Isocet (polyester) Isocure (PU) Rutapox (époxy) Syncor (PS) Polydox – CO_2 (Acrylique) Liants minéraux Silicate de soude – CO_2	Aucun liant Moulage magnétique Congélation Polystyrène

*Ces résines sont à base de formaldéhyde

3.1.3 Matériaux de moulage et noyautage

Les trois groupes de produits entrant dans la fabrication des moules et des noyaux en sable sont (13):

- Sables de base : de nombreux sables de base sont disponibles. La silice cristalline est le matériau le plus universellement employé pour la confection des moules et des noyaux. Parmi les autres, on retrouve la chromite, l'olivine, le zircon et les silico-alumineux

- Produits annexes : on retrouve parmi ceux-ci certaines matières organiques sujettes à la décomposition thermique et des matières inorganiques; il s'agit d'agents générateurs d'atmosphère réductrice, de débourrage, de démoulage, de colles, de mastics, etc

- Liants : les liants sont avec les sables de base les éléments les plus importants employés dans la fabrication des moules et noyaux en fonderie. Les liants confèrent au matériau de moulage, une certaine plasticité qui lui permet d'épouser la forme du modèle, et, suite à son durcissement, la résistance mécanique nécessaire jusqu'à l'ultime solidification du métal. Les liants peuvent être :
  - Minéraux comme les argiles, bentonite, silice colloïdale, silicate soluble, plâtre et ciment ou
  - Organiques comme les matières amylacées, les huiles siccatives et les résines synthétiques thermodurcissables ou durcissables à froid.

Les mêmes résines synthétiques peuvent être durcies sous l'effet de chaleur ou à froid à l'aide d'un catalyseur. L'utilisation de la chaleur accroît cependant le potentiel d'émission de formaldéhyde dans l'environnement de travail comme dans le cas des procédés de Croning, boîte chaude et boîte tiède.

Les résines phénoliques (PF) sont des polymères de phénol et de formaldéhyde soit sous forme de novolaques ou de résols. Les novolaques ne contiennent pas de formaldéhyde libre mais leur durcisseur (paraformaldéhyde ou hexaméthylènetétramine) peut dégager du formaldéhyde dans l'air ambiant lors de la réticulation. Les résols contiennent un excès de formaldéhyde devant servir au durcissement (14).

On utilise les résines urée-formaldéhyde (UF) qu'à la coulée des métaux non ferreux. Le processus de durcissement s'accompagne toujours d'une émission de formaldéhyde importante.

Les résines furanniques utilisées sont surtout présentes sous la forme d'un mélange de polymères avec une ou plusieurs résines aminées comme l'urée- formaldéhyde (UF), la mélamine-formaldéhyde (MF), des résines phénoliques (PF) et résorcinol- formaldéhyde (RF).

D'autres résines synthétiques comme les polyuréthannes (PU), les polyesters, les acryliques ou les alkydes sont aussi utilisées. Elles peuvent être la seule résine présente dans le liant ou il peut y avoir présence de certaines résines à base de formaldéhyde comme dans le procédé Pepset.

3.2 Postes et emplois normalisés

L'analyse des divers documents techniques et des renseignements obtenus de spécialistes du domaine de la fonderie au Québec a permis de dresser aux tableaux 4 et 5 les listes suivantes des professions normalisées et des postes de travail normalisés.

Tableau 4 : Classement des professions normalisées

Code	Profession normalisée	Critères pour l'assignation d'un titre d'emploi spécifique à une profession normalisée
1	Réceptionnaire des commandes	Toute personne responsable de la réception et de la définition du cahier des charges / dessin de la pièce avec le client, et si nécessaire avec l'usineur, pour obtenir les modèles de la pièce à fabriquer.
2	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	La préparation des sables inclut la récupération du sable et d'autres matériaux du décochage, et l'addition des nouveaux liants, adjuvants et sables.
3	Mouleur / Noyauteur	Décharger une quantité mesurée de sable préparé, chauffer le mélange de sable (en dehors de l'outillage ou par contact avec l'outillage, cela dépend du procédé de moulage ou de noyautage), fabrication du moule ou des noyaux (manuel ou sur machines).
4	Fondeur	Élaboration des alliages dans les appareils de fusion (cubilots, fours électriques). Coulée du métal dans les moules.
5	Opérateur de décochage	Décochage des moules, récupération du sable décoché et renvoi à la sablerie pour régénération, récupération des pièces et des systèmes de coulée.
6	Finisseur	Séparation des systèmes de coulée, nettoyage des pièces par grenaillage et finition par meulage et découpe des bavures; contrôle des pièces et livraison.
7	Technicien de laboratoire	Contrôle des sables et métallurgie.
8	Nettoyeur	Toute personne dont la tâche consiste à faire l'entretien ménager.
9	Mécanicien, Électricien, Plombier, ...	Mécanicien, électricien, plombier, ... (employés de maintenance)
10	Autres	Non classé ailleurs (n.c.a.)

Tableau 5 : Classement des postes de travail normalisés

Zone de travail		Poste de travail	
Code	**Nom**	**Code**	**Nom**
0	Toutes les zones	0.0	Toutes les zones de travail – Poste indéterminé
1	Sablerie de moulage	1.1	Réception des sables de décochage
		1.2	Mélange de sables récupérés avec sable neuf, liants, ...
		1.0	Poste indéterminé
2	Moulage	2.1	Préparation de l'outillage et du modèle
		2.2	Fabrication du moule
		2.0	Poste indéterminé
3	Sablerie de noyautage	3.1	Réception des sables de décochage
		3.2	Mélange de sables récupérés avec sable neuf, liants, ...
		3.0	Poste indéterminé
4	Fabrication des noyaux	4.1	Préparation de l'outillage et du modèle
		4.2	Élaboration des noyaux
		4.3	Refroidissement des noyaux
		4.0	Poste indéterminé
5	Fusion - coulée	5.1	Récupération de descentes de coulées
		5.2	Élaboration des alliages dans des appareils de fusion
		5.3	Coulée du métal dans les moules
		5.0	Poste indéterminé
6	Décochage	6.1	Défonçage de moules
		6.2	Décochage sur grille vibrante
		6.3	Refroidissement des pièces
		6.4	Retour des châssis vides vers l'unité de moulage
		6.0	Poste indéterminé
7	Finition	7.1	Grenaillage
		7.2	Ébarbage
		7.3	Meulage
		7.4	Traitement thermique et de surface si nécessaire
		7.0	Poste indéterminé
8	Autres	8.1	Expédition
		8.2	Réception
		8.3	Administration
		8.4	Autres
		8.0	Poste indéterminé

4. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : DONNÉES DE LITTÉRATURE

Une revue systématique de la littérature scientifique a été faite. Elle a été complétée par la consultation des bases de données IMIS (Integrated Management Information System = banques des résultats de mesurage des inspecteurs d'OSHA) et NEDB (National Exposure Data Base = banques des résultats de mesurage des inspecteurs du HSE (Health and Safety Executive du Royaume-Uni)).

4.1 Littérature scientifique

Les articles scientifiques où l'on a trouvé des données d'exposition avec une description des professions ou des postes de travail se résument à quelques études. Plusieurs autres ne contenaient que des évaluations qualitatives des conditions en fonderie (16-28). Certaines autres rapportaient des données d'exposition mais il s'agissait d'expositions historiques estimées par des experts dans le cadre d'études épidémiologiques ou cliniques (29-33). Dans d'autres cas, les études furent jugées non représentatives de la situation actuelle parce qu'elles ont été réalisées avant 1980 (34-36). Seulement les articles du premier type ont été utilisés dans l'établissement des matrices.

Quelques études ont fourni des données d'exposition sans préciser la nature du métal (37-39). On possède cependant dans ces études des indications quant à la zone de travail, soit le moulage/noyautage ou la fusion/coulée et le procédé de moulage / noyautage. Ces données sont présentées au tableau 6. Il faut noter que la première référence citée est elle-même une revue de la littérature sur le sujet; on a omis de celle-ci toutes les mesures associées à des études publiées avant 1980.

Tableau 6 : Synthèse de valeurs d'exposition 8h sans égard au métal coulé

Opération[1]	**Procédé de Moulage – Noyautage**	**Poste / profession normalisé**	**Concentration Moyenne (Écart-type) « Fourchette » ppm**
M-N	Autodurcissants	Fabrication des noyaux et moules	1,4
M-N	Prise par gazage	Fabrication des noyaux	« 0,05 – 0,5 »
M-N	Phénoliques	Fabrication des noyaux et moules	« 0,1 – 1,8 »
M-N	Furanniques	Fabrication des noyaux et moules	« 0,1 – 1,95 »
M-N	Furanniques	Mélange de sables :sable neuf et liants; Fabrication des noyaux et moules	< 0,1
M-N	Furanniques	Fabrication des noyaux et moules	0,086 (1,831)
M-N	Boîte chaude	Fabrication des noyaux et moules	2,8
M-N	Boîte chaude	Fabrication des noyaux	« 0,1 – 4,5 »

Opération[1]	Procédé de Moulage – Noyautage	Poste / profession normalisé	Concentration Moyenne (Écart-type) « Fourchette » ppm
M-N	Croning	Fabrication des noyaux et moules	0,4
M-N	Croning	Fabrication des noyaux et moules	« 0,2 – 0,6 »
M-N	Croning	Fabrication des noyaux et moules	0,6 « 0,2 – 1,0 »
F-C	----------	Fusion-coulée	0,1 « 0,05 – 0,2 »
F-C	----------	Fusion-coulée	« 0,1 – 13 »

[1] M-N : moulage/noyautage ; F-C : fusion/coulée

Une autre étude (40) ne permet de juger que de l'évolution des niveaux de concentration dans l'industrie finlandaise entre 1980 et 1994. Il n'y est fait mention d'aucun poste et d'aucun métal alors qu'on semble indiquer que les résines utilisées ont toujours été, durant cette période, des résines furanniques. Cependant, on peut noter que si le 90^{e} centile des niveaux d'exposition sur 15 minutes a baissé de plus de 50% après 1985 (1 ppm à 0,40 ppm) la médiane n'a pas changée (0,08 ppm à 0,12 ppm).

- Fonderies d'acier (CAEQ 2912)

On n'a répertorié que trois publications traitant spécifiquement des fonderies d'acier. La première s'est avérée être une opération séparée de la fonderie où l'on pratiquait le laminage à froid de feuilles d'acier (41). La deuxième étude (42) donne des résultats surprenants; 2 à 4 ppm dans l'environnement général de l'usine alors que la concentration dans le département de moulage/noyautage (procédé furannique) était sous la limite de détection des instruments. Nous n'avons pas retenu cette étude. La troisième (43) a servi à caractériser l'exposition des mouleurs/noyauteurs; la concentration moyenne (écart-type) pour 6 mesures était de 0,28 (1,44) ppm

- Fonderies de fer CAEQ 2941

La synthèse des différentes publications scientifiques (37; 44-55) pour les fonderies de fer est présentée au tableau 7.

Tableau 7 : Synthèse des valeurs d'exposition 8h pour les fonderies de fer

Profession / Poste normalisé	Procédé Moulage/Noyautage (Auteur)	Nombre de mesures	Concentration Moyenne (Écart-type) « Fourchette » ppm
Mesures en personnel			
Préparateur des sables	Thermique (Elliott)	2	« 0,6 – 1,21 »
	Thermique (Centaur)	?	« 0,4 – 1,10 »
Mouleur / Noyauteur	Thermique (Cone)	2	« 0,24 – 0,28 »
	Chimique(Stephenson)	2	« 0,24 – 0,73 »
	Thermique (Centaur)	?	« 0,26 – 1,27 »
	Thermique (Centaur)	?	« 0,17 – 1,84 »
	Thermique (Elliott)	13	0,57 (1,57)
	Autodurcissants (Smillie)	?	« 0,2 – 0,3 »
Fondeur	Thermique (Centaur)	5	« 0,12 – 0,88 »
Finisseur	Thermique (Centaur)	?	« 0,20 – 1,51 »
Mesures en poste fixe			
Fabrication du moule	Phénolique (Clark Burton-Kinnes)	2	0,01
	Indéterminé (Di Lorenzo)	?	0,24
	Autodurcissants (Smillie)	?	0,29
Élaboration des noyaux	Phénolique (Clark Burton-Kinnes)	1	0,03
	Phénolique (Clark Burton -Edmonds)	5	0,03 (1,35)
	Phénolique (Apol)	5	0,04(1,32)
	Phénolique (Clark Burton -McCull)	3	« 0,02 – 0,03 »
	Pepset (Clark Burton - McCullough)	2	« 0,02 – 0,08 »
	Croning (Clark Burton - McCullough)	3	« 0,03 – 0,17 »
	Chimique (Stephenson)	3	0,4 (1,0)
	Chimique (Clark Burton - Burr)	2	0,01
	Chimique (Clark Burton - O'Brien)	1	0,02
	Thermique (Clark Burton -O'Brien)	3	« 0,01 – 0,02 »

Profession / Poste normalisé	Procédé Moulage/Noyautage (Auteur)	Nombre de mesures	Concentration Moyenne (Écart-type) « Fourchette » ppm
	Thermique (Burton-Burr)	2	« 0,002 – 0,008 »
	Thermique (Elliot)	2	« 1,32 – 1,39 »
	Indéterminé (Main)	?	« 0,18 – 3,90 »
Coulée du métal dans les moules	Indéterminé (Di Lorenzo)	?	0,08
	Indéterminé (Clark Burton -O'Brien)	1	0,02
	Phénolique (Clark Burton -Kinnes)	2	« 0,01 – 0,02 »

- Moulage de l'aluminium (CAEQ 2962*)[1]

La synthèse des différentes publications scientifiques (56-58) pour le moulage de l'aluminium est présentée au tableau 8. Trois autres publications concernant l'industrie de l'aluminium ont été analysées. Une première (59) présentait des résultats d'exposition au formaldéhyde provenant de l'utilisation d'un biocide (Grotan®) dans les huiles de coupe d'un atelier d'usinage. Dans les deux autres (60-61), l'exposition provenait de la dégradation thermique des liquides de refroidissement lors du laminage à froid de l'aluminium.

Tableau 8 : Synthèse des valeurs d'exposition 8h pour les fonderies d'aluminium

Profession normalisée	Procédé Moulage/Noyautage	Nombre de mesures	Concentration Moyenne (Écart-type) « Fourchette » ppm
Préparateur des sables	---------- (Kominsky)	1	0,22
Mouleur / Noyauteur	Prise par gazage (Kominsky)	17	0,20 (1,42)
	Phénoliques (Kominsky)	3	0,30 (1,11)

[1] * Indique que les établissements concernés par cette annexe sont un sous-ensemble des établissements visés par cette classe économique

Profession normalisée	Procédé Moulage/Noyautage	Nombre de mesures	Concentration Moyenne (Écart-type) « Fourchette » ppm
	Prise par gazage (Westberg)	5	0,02 (3,50)
	Prise par gazage (Westberg)	7	0,04 (1,70)
	Prise par gazage (Westberg)	8	0,03 (1,4)
Fondeur	---------- (Kominsky)	2	« 0,18 – 0,19 »
	---------- (Westberg)	8	0,03 (1,80)
	Moulage sous pression (Westberg)	9	0,02 (1,30)
Opérateur de décochage	---------- (Kominsky)	2	« 0,15 – 0,16 »
	Moulage sous pression (Westberg)	2	0,01 (1,00)
	---------- (Westberg)	7	0,02 (1,20)
Finisseur	----------(Priante) Moulage sous pression	3	0,22 « 0,02 – 0,6 »

4.2 Base de données

Les deux bases de données, IMIS et NEDB contenaient des mesures de formaldéhyde. Des critères de sélection ont été définis pour l'utilisation des valeurs numériques :

- Être capable d'identifier si la mesure a été faite pour vérifier la conformité à une valeur d'exposition admissible (VEA) en valeur plafond ou à une VEA en moyenne pondérée sur huit heures (codes T, C, P, L dans la colonne « measurement type » de IMIS)
- Être capable d'associer la mesure à une exposition personnelle (élimination des codes S et B dans la colonne « sample type » de IMIS)
- Être capable d'associer l'emploi du travailleur à une profession et à un poste normalisés de la section 3.2
- Être capable d'identifier le procédé industriel pour lui assigner le code CAEQ
- Lorsque la valeur d'exposition était nulle, nous l'avons remplaçée par la limite de détection divisée soit par deux ou soit par la racine carrée de deux (le choix de deux ou de la racine carrée de deux étant une fonction de la variabilité des autres mesures pour la même profession normalisée).

Le logiciel IHSTAT(62) a été utilisé pour l'analyse statistique des mesures.

- Base de données NEDB

La base de données NEDB contenait cinquante-neuf mesures de formaldéhyde dans les fonderies (Casting of Steel, Casting of Iron, Ferrous Metal Foundries, Non-ferrous Foundries). Suite à l'application des critères de sélection, le nombre de mesures utilisables est demeuré le même. De ce nombre, quarante-huit ont été utilisées pour évaluer l'exposition moyenne sur huit heures et onze pour les valeurs plafond. L'analyse statistique des mesures de NEDB a permis de produire le tableau 9. L'équivalence entre les classes de la CAEQ et les dénominations dans la base de données NEDB se lit comme suit : 2912 = Casting of Steel, 2941 = Casting of Iron & Ferrous Metal Foundries et 2999 = Non-ferrous Foundries.

Tableau 9 : Synthèse des mesures de la base de données NEBD de 1986 à 2000

CAEQ	Profession normalisée	Nombre de mesures	M.G.[1]	É.G.	95%	Test Ln	Test No
Exposition moyenne sur 8 heures							
2912	Mouleur / Noyauteur	4	0,19	S/O	S/O	S/O	S/O
	Fondeur	2	0,11	S/O	S/O	S/O	S/O
2941	Mouleur / Noyauteur	16	0,12	4,17	1,204	Non	Non
	Fondeur	3	0,00	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	11	0,03	3,973	0,32	Oui	Non
2999*	Préparateur des sables ...	2	0,11	S/O	S/O	S/O	S/O
	Mouleur / Noyauteur	3	0,91	S/O	S/O	S/O	S/O
	Fondeur	6	0,33	S/O	S/O	S/O	S/O
	Opérateur de décochage	1	0,33	S/O	S/O	S/O	S/O
Exposition en valeur plafond							
2941	Fondeur	2	0,29	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	1	0,12	S/O	S/O	S/O	S/O
2999*	Mouleur / Noyauteur	5	0,34	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	3	0,30	S/O	S/O	S/O	S/O

[1] M.G. = moyenne géométrique de l'échantillon de mesures
É.G. = écart-type géométrique de l'échantillon de mesures
95% = 95^{ième} percentile de la distribution définie par la M.G. et l'É.G.
Test Ln = test d'ajustement déterminant si la distribution de l'échantillon est « Lognormale »
Test No = test d'ajustement déterminant si la distribution de l'échantillon est « Normale »
* Indique que les établissements concernés par cette annexe sont un sous-ensemble des établissements visés par cette classe économique
S/O = sans objet (aucune analyse statistique n'a été faite lorsqu'il y avait moins de 10 données)

- Base de données IMIS

IMIS contenait neuf cent quarante-six mesures de formaldéhyde dans les fonderies (SIC USA 3321, 3322,3324, 3325, 3363, 3364, 3365, 3366, 3369). Suite à l'application des critères de sélection, le nombre de mesures utilisables est passé à cinq cent douze. De ce nombre, trois cent trente-six ont été utilisées pour évaluer l'exposition moyenne sur huit heures et cent soixante-seize pour les valeurs plafond. L'analyse statistique des mesures de IMIS a permis de produire le tableau 11. L'équivalence entre les classes de la CAEQ et celles de la SIC des USA se lit comme suit : 2912 = 3324 & 3325, 2941 = 3321 & 3322, 2962 = 3365, 2971 = 3366 et 2999 = 3369 & 3363 & 3364)

Tableau 10 : Synthèse des mesures de la base de données IMIS de 1980 à 2001

CAEQ	Profession normalisée	Nombre de mesures	M.G.	É.G.	95%	Test Ln	Test No
Exposition moyenne sur 8 heures							
2912	Mouleur / Noyauteur	50	0,07	6,451	1,44	Non	Non
	Fondeur	4	0,03	S/O	S/O	S/O	S/O
	Opérateur de décochage	1	1,60	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	2	0,04	S/O	S/O	S/O	S/O
2941	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	16	0,13	6,365	2,82	Non	Oui
	Mouleur / Noyauteur (80-89)	41	0,13	5,866	2,37	Non	Non
	Mouleur / Noyauteur (90-94)	45	0,05	5,583	0,83	Non	Non
	Mouleur / Noyauteur (95-01)	49	0,13	4,643	1,57	Non	Non
	Fondeur	12	0,07	9,931	2,93	Non	Non
	Opérateur de décochage	5	0,23	S/O	S/O	S/O	S/O
	Finisseur	3	0,25	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	31	0,09	6,353	1,87	Non	Non
2962	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	4	0,30	S/O	S/O	S/O	S/O
	Mouleur / Noyauteur	12	0,13	5,44	2,18	Oui	Non
	Fondeur	3	0,03	S/O	S/O	S/O	S/O
	Finisseur	1	0,11	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	3	0,13	S/O	S/O	S/O	S/O
2971	Préparateur des sables ...	2	0,19	S/O	S/O	S/O	S/O
	Mouleur / Noyauteur	25	0,09	4,83	1,19	Oui	Non
	Fondeur	2	0,04	S/O	S/O	S/O	S/O
	Opérateur de décochage	2	0,57	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	2	0,18	S/O	S/O	S/O	S/O
2999	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	2	0,02	S/O	S/O	S/O	S/O

CAEQ	Profession normalisée	Nombre de mesures	M.G.	É.G.	95%	Test Ln	Test No
	Mouleur / Noyauteur	9	0,12	S/O	S/O	S/O	S/O
	Fondeur	3	0,01	S/O	S/O	S/O	S/O
	Finisseur	5	0,04	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	1	0,01	S/O	S/O	S/O	S/O
Exposition en valeur plafond							
2912	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	2	3,00	S/O	S/O	S/O	S/O
	Mouleur / Noyauteur	22	0,04	4,789	0,53	Non	Non
	Fondeur	2	0,04	S/O	S/O	S/O	S/O
	Opérateur de décochage	1	0,11	S/O	S/O	S/O	S/O
	Finisseur	1	0,01	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	2	0,07	S/O	S/O	S/O	S/O
2941	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	16	0,21	6,592	4,57	Non	Non
	Mouleur / Noyauteur (80-89)	23	0,08	4,85	1,06	Non	Non
	Mouleur / Noyauteur (90-01)	39	0,09	5,248	1,35	Oui	Non
	Fondeur	6	0,05	S/O	S/O	S/O	S/O
	Opérateur de décochage	2	0,02	S/O	S/O	S/O	S/O
	Finisseur	2	0,03	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	10	0,07	4,629	0,89	Oui	Non
2962	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	2	0,15	S/O	S/O	S/O	S/O
	Mouleur / Noyauteur	9	0,09	S/O	S/O	S/O	S/O
	Fondeur	1	0,05	S/O	S/O	S/O	S/O
	Opérateur de décochage	1	0,01	S/O	S/O	S/O	S/O
	Finisseur	1	0,11	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	2	0,09	S/O	S/O	S/O	S/O
2971	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	3	0,31	S/O	S/O	S/O	S/O
	Mouleur / Noyauteur	11	0,06	10,45	3,04	Oui	Non
	Fondeur	3	0,09	S/O	S/O	S/O	S/O
	Opérateur de décochage	2	0,13	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	2	0,01	S/O	S/O	S/O	S/O
2999	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	1	0,26	S/O	S/O	S/O	S/O
	Mouleur / Noyauteur	8	0,04	S/O	S/O	S/O	S/O
	Fondeur	1	0,01	S/O	S/O	S/O	S/O
	Autres	1	0,21	S/O	S/O	S/O	S/O

[1] M.G. = moyenne géométrique de l'échantillon de mesures
É.G. = écart-type géométrique de l'échantillon de mesures
95% = 95^{ième} percentile de la distribution définie par la M.G. et l'É.G.
Test Ln = test d'ajustement déterminant si la distribution de l'échantillon est « Lognormale »
Test No = test d'ajustement déterminant si la distribution de l'échantillon est « Normale »

* Indique que les établissements concernés par cette annexe sont un sous-ensemble des établissements visés par cette classe économique
S/O = sans objet (aucune analyse statistique n'a été faite lorsqu'il y avait moins de 10 données)

Deux remarques s'imposent qui auront une importance très grande dans le choix retenu pour la construction des matrices.

- À l'exception des mouleurs – noyauteurs, il y a très peu de données par profession normalisée quand on fait le découpage par source d'information et par secteur d'activité économique
- Un pourcentage important des mesures était sous la limite de détection.

5. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : MESURES SUR LE TERRAIN PAR L'IRSST

Aucune mesure n'a été prise par l'équipe terrain de l'IRSST.

6. EXPOSITION DES TRAVAILLEURS : AUTRES MESURES SUR LE TERRAIN

Quelques mesures de formaldéhyde disponibles dans les CLSC ont été rassemblées. Ces données sont présentées au tableau 11.

Tableau 11 : Niveaux d'exposition en ppm mesurés dans les fonderies du Québec par des CLSC

Classe économique	Procédé de moulage	Exposition Moyenne ppm	Nombre de mesures	Commentaires
2912	Noyautage (Probable. Hotbox)	0,4 – 2,4	4	1985 (~ 25 minutes)
2912	Moule en sable Procédé Pepset	0,16	2	1985 (27 minutes)
2912	Moule en sable Procédé Alphaset	0,04	1	1993 (192 minutes)
2912	Cire perdue	< 0,12	5	Les fonderies avec moulage à la cire perdue ont été éliminées de l'annexe. Aucun usage de résine à base de HCHO
2912, 2941	Moule en sable et moules permanents	< 0,8	12	Ces données sont inutilisables. La limite de détection est plus

Classe économique	Procédé de moulage	Exposition Moyenne ppm	Nombre de mesures	Commentaires
2912, 2941	Moule en sable et moules permanents	< 0,4	6	La limite de détection est plus élevée que 0,3 ppm.
2912, 2941	Moule en sable et moules permanents	0,4	1	Une seule mesure a été prise.

Les trois premières séries de mesures ont été extraites d'un programme de santé de CLSC alors que les autres sont des valeurs sans aucune donnée qualitative. Ces dernières n'ont pas été utilisées pour l'établissement des matrices compte tenu du manque d'information.

7 MATRICES D'EXPOSITION

7.1 Construction des matrices

La méthodologie générale de construction des matrices est présentée à l'appendice 4.

Les matrices ont été élaborées uniquement à partir des données de la littérature et de celles des bases de données. Suite à l'analyse critique des données disponibles, il s'est avéré préférable de construire des matrices pour l'ensemble du secteur Fonderies plutôt que pour chacune des classes économiques, soit les classes 2912, 2941, 2962, 2971 et 2999 de la CAEQ.

Dans un premier temps, l'observation des tableaux 6 à 11 révèle que la moyenne pour chaque profession à l'intérieur de chaque classe économique est souvent constituée d'un très petit nombre d'observations; ceci rend le calcul de paramètres statistiques extrêmement imprécis. Dans un deuxième temps, la distribution de la main d'œuvre par profession normalisée n'était disponible que pour l'ensemble des classes économiques du secteur « Fonderies ». La distinction par classe économique s'est avérée impossible à faire par les experts consultés parce que d'autres facteurs tels le type de produit fabriqué ou le niveau de mécanisation peut avoir plus d'importance sur cette distribution que le type de métal coulé. Pour cette raison, une seule matrice a été élaborée utilisant, pour chaque profession normalisée, les valeurs d'exposition sans égard à la classe économique et sans égard à la source documentaire consultée. La variable « taille de l'entreprise » a cependant été incorporée dans le calcul de la distribution de la main d'œuvre par profession normalisée; cette étape a été jugée essentielle pour évaluer adéquatement le nombre de travailleurs par profession.

La moyenne géométrique a été calculée à partir de l'ensemble des valeurs uniques d'exposition pour chaque profession. Les valeurs agrégées sous forme de moyenne et d'écart type dans les

articles de la littérature ont été utilisées pour générer des valeurs uniques par une simulation Monte-Carlo. Un écart-type géométrique de 2,7 a été choisi pour établir la distribution des pourcentages par plage de valeurs d'exposition. Cette décision se fonde sur le fait que les écarts-types géométriques entre 4 et 7 obtenus par le traitement des données disponibles ne semblaient pas représentatives du milieu industriel (63-64).). Il n'est pas inattendu de trouver de très grands écarts-types lorsque les distributions sont constituées de valeurs issues de sources diverses comme IMIS, NEDB et les articles de littérature où les dates, les motifs de l'évaluation etc. sont très différents. En l'absence d'indications claires qu'une distribution est normale ou lognormale, cette dernière demeure l'outil d'analyse le meilleur compte tenu de l'expérience en hygiène du travail. De plus il faut noter que les tests statistiques utilisés pour juger de la normalité ou de la lognormalité d'une distribution sont très conservateurs.

Suite à la construction de la matrice en utilisant les paramètres statistiques uniquement, la distribution a été révisée par expertise en fonction des connaissances sur le secteur industriel et sur les conditions actuelles de production au Québec.

7.2 Résultats

7.2.1 Détermination du nombre d'établissements et du nombre de travailleurs

Deux outils ont été utilisés pour établir la liste finale des établissements visés par cette annexe :

- la liste réduite des établissements établie par expertise selon les procédés de moulage et de noyautage
- le formulaire de demande d'expertise pour la distribution de la main d'œuvre par taille d'entreprise (Appendice 2). Cette distribution a été jugée essentielle pour établir celle de la main d'œuvre par profession normalisée.

D'une première liste de fonderies construite à partir de renseignements du Ministère de l'Emploi, de la Solidarité sociale et de la Famille, de la CSST et du Centre de recherche industriel du Québec (www.icriq.com), on a extrait les fonderies de moulage au sable et les fonderies de moule permanent ; ces deux procédés de moulage et de noyautage sont les seuls pouvant créer un potentiel significatif d'exposition. Le nombre de travailleurs pour chaque établissement retenu a ensuite été obtenu du Centre de recherche industriel du Québec. Ces informations sont présentées au tableau 12.

Tableau 12 : Nombre d'établissements et de travailleurs québécois dans les fonderies avec un potentiel d'exposition au formaldéhyde

Classe industrielle CAEQ	Nombre d'établissements			Nombre de travailleurs		
	1-20	21 - 100	>100	1-20	21 - 100	>100
2912 – Fonderies d'acier	0	1	1	0	70	130
2941 – Fonderies de fer	4	9	5	56	560	877
2962 - … moulage…de l'aluminium	4	6	1	48	328	210
2971 - …moulage … du …cuivre	0	0	0	0	0	0
2999 - Autres …moulage ..non fer..	0	1	0	0	29	0
TOTAL	8	17	7	104	987	1217

7.2.2 Distribution des travailleurs par emploi normalisé

La distribution de la main d'oeuvre par taille d'entreprise a été réalisée par le Centre intégré de fonderie et de métallurgie (CIFM) (Appendice 3) et la conclusion est présentée au tableau 13. En multipliant les cellules de ce tableau par les trois dernières cellules « TOTAL » du tableau 12 pour chacune des tailles type d'entreprise, on obtient la distribution du nombre de travailleurs par profession normalisée du tableau 14, utilisé pour l'établissement de la matrice emploi – exposition.

Tableau 13 : Pourcentage des travailleurs des fonderies du Québec dans chaque catégorie de profession

Code	Profession normalisée	*Petite* 1-20 trav.	*Moyenne* 21-100 trav.	*Grande* >100 trav.
1	Réceptionnaire des commandes …	5	3	4
2	Préparateur des sables de moulage et …	5	5	4
3	Mouleur / Noyauteur	21	26	20
4	Fondeur	5	7	6
5	Opérateur de décochage	5	5	3
6	Finisseur	21	26	31
7	Technicien de laboratoire	5	3	3
8	Nettoyeur (Entretien ménager)	5	3	3
9	Électricien, mécanicien, plombier, …	11	7	11
10	Autres	16	14	14

Tableau 14 : Distribution des travailleurs des fonderies du Québec dans chaque catégorie de profession

Code	*Profession normalisée*	*Petite* 1-20 trav.	*Moyenne* 21-100 trav.	*Grande* >100 trav.	Toutes grandeurs
		nombre	nombre	nombre	nombre
1	Réceptionnaire	5	34	48	87
2	Préparateur des sables ...	5	51	48	104
3	Mouleur / Noyauteur	22	255	240	517
4	Fondeur	6	68	77	151
5	Opérateur de décochage	6	51	38	95
6	Finisseur	22	256	384	662
7	Technicien de laboratoire	6	34	38	78
8	Nettoyeur (Entretien ménager)	5	34	38	77
9	Électricien, mécanicien, ...	11	68	134	213
10	Autres	16	136	172	324

7.2.3 Distribution relative par plage d'exposition pour l'ensemble du secteur

Le calcul des paramètres statistiques pour l'ensemble du secteur « Fonderies », en utilisant exclusivement les valeurs mesurées, est présenté au tableau 15. L'ensemble des valeurs mesurées de la littérature et des bases de données IMIS et NEDB ont été utilisées. Chaque mesure conservée pour les calculs devait satisfaire les exigences suivantes :

- Être capable d'identifier si la mesure a été faite pour vérifier la conformité à une valeur d'exposition admissible (VEA) en valeur plafond ou en moyenne pondérée sur huit heures
- Être capable d'associer la mesure à une exposition personnelle
- Être capable d'identifier l'emploi du personnel en terme des professions et des postes normalisés.

Les tests statistiques ont été réalisés en utilisant le logiciel IHSTAT sauf dans le cas des mouleurs / noyauteurs où la conformité des valeurs à un modèle de distribution lognormale et normale a été établie par une méthode graphique.

Une comparaison des moyennes géométriques entre les valeurs moyennes sur 8 heures et les valeurs plafond de chaque profession normalisée, révèle que les valeurs d'exposition moyenne sur 8 heures sont en général plus élevées que les valeurs plafond ou sont du même ordre de grandeur. Les valeurs plafond devant être supérieures ou au moins égales aux valeurs moyennes sur 8 heures (une valeur moyenne ne peut être plus élevée que la plus haute des valeurs qui composent cette moyenne), il a été décidé de ne pas utiliser les valeurs compilées pour établir les matrices en valeur plafond. Une seule matrice a été produite pour les deux types d'exposition.

Tableau 15 : Exposition des travailleurs

Profession normalisée	Nombre de mesures	M.G.	É.G.	95%	Test Ln	Test No
Exposition moyenne sur huit heures						
Réceptionnaire des commandes	1	0,22	------	------	------	------
Préparateur des sables de moulage / noyautage	28	0,15	5,51	2,50	Non	Non
Mouleur / Noyauteur	315	0,10	5,28	1,57	Non	Non
Fondeur	53	0,04	5,96	0,74	Oui	Non
Opérateur de décochage	19	0,08	6,40	1,80	Non	Non
Finisseur	10	0,09	4,04	0,93	Oui	Non
Technicien de laboratoire	3	0,08	5,91	------	------	------
Nettoyeur (Entretien ménager)	0	------	------	------	------	------
Électricien, mécanicien, plombier, ...	0	------	------	------	------	------
Autres	50	0,07	5,35	1,10	Oui	Non
Exposition en valeur plafond						
Réceptionnaire des commandes	0	-----				
Préparateur des sables de moulage / noyautage	24	0,27	5,73			
Mouleur / Noyauteur	117	0,07	5,84			
Fondeur	15	0,06	4,63			
Opérateur de décochage	6	0,05	9,09			
Finisseur	4	0,03	11,7			
Technicien de laboratoire	0	-----				
Nettoyeur (Entretien ménager)	0	-----				
Électricien, mécanicien, plombier, ...	0	-----				
Autres	21	0,08	4,06			

Aucune mesure n'était disponible pour deux professions normalisées alors que l'écart-type pour les techniciens de laboratoire est fondé sur trop peu de données pour être significative et celui du réceptionnaire de commande est impossible à calculer. Pour obtenir la distribution des pourcentages par plage d'exposition pour chacune des professions normalisées, il a fallu émettre trois hypothèses :

- Compte tenu des restrictions associées aux tests statistiques, tel que discuté en 7.1, le fait que trois distributions soient conformes au modèle lognormal et aucune au modèle normal, le modèle lognormal semble le meilleur choix pour l'analyse de l'ensemble des données
- L'exposition moyenne des nettoyeurs (entretien ménager) et des électriciens, mécaniciens, plombiers est semblable à celle des techniciens de laboratoire, c'est-à-dire une exposition épisodique. Comme ces employés sont vraisemblablement plus souvent dans les aires de production que les techniciens, on leur assigne une moyenne légèrement plus élevée, 0,08 ppm

- L'exposition des réceptionnaires de commande n'étant fondée que sur une seule mesure, nous avons choisi d'attribuer à cette profession les mêmes valeurs de moyenne et d'écart-type que celles choisies pour les deux autres professions normalisées sans mesures expérimentales.

La transformation de ces valeurs est présentée au tableau 16.

Tableau 16 : Exposition des travailleurs après transformation des données

Profession normalisée	Nombre de mesures	M.G.	É.G.
Réceptionnaire des commandes	1	0,08	2,7
Préparateur des sables de moulage / noyautage	28	0,15	2,7
Mouleur / Noyauteur	315	0,10	2,7
Fondeur	53	0,04	2,7
Opérateur de décochage	19	0,08	2,7
Finisseur	10	0,09	2,7
Technicien de laboratoire	3	0,08	2,7
Nettoyeur (Entretien ménager)	0	0,08	2,7
Électricien, mécanicien, plombier, ...	0	0,08	2,7
Autres	50	0,07	2,7

La procédure présentée dans l'appendice 4 permet de transformer les données du tableau 16 en distribution par plages d'exposition. Cette distribution est présentée au tableau 17.

Tableau 17 : Distribution en pourcentage des travailleurs des fonderies par plages de concentrations

Professions normalisées	Distribution des travailleurs selon les niveaux d'exposition en ppm Pour VEMP et valeur plafond				
	HCHO≤ 0,3	0,3<HCHO≤ 0,75	0,75<HCHO≤ 1	1<HCHO≤ 2	HCHO>2
Réceptionnaire	90 %	9 %	1 %	0 %	0 %
Préparateur des sables	76 %	19 %	2 %	2 %	1 %
Mouleur / Noyauteur	86 %	12 %	1 %	1 %	0 %
Fondeur	98 %	2 %	0 %	0 %	0 %
Opérateur de décochage	90 %	9 %	1 %	0 %	0 %
Finisseur	88 %	10 %	1 %	1 %	0 %
Technicien de laboratoire	91 %	8 %	1 %	0 %	0 %
Nettoyeur	90 %	9 %	1 %	0 %	0 %
Électricien, mécanicien	90 %	9 %	1 %	0 %	0 %
Autres	93 %	6 %	1 %	0 %	0 %

Deux éléments essentiels d'information ont été utilisé pour moduler la distribution établie à partir des paramètres statistiques :

- Une analyse rétrospective de l'impact économique de la règle d'OSHA de 1987 sur les fonderies des États-Unis publiée en 1994 (65)
- Des communications personnelles avec des distributeurs de résines de fonderies du Québec concernant le marché québécois des résines à base de formaldéhyde.

L'analyse rétrospective américaine indique que, déjà en 1994, plusieurs fonderies avaient opté de passer des procédés de moulage - noyautage thermiques aux procédés autodurcissants et d'utiliser des résines à basse émission de formaldéhyde plutôt que d'investir dans l'amélioration de la ventilation tel que prôné par OSHA. L'utilisation de ces résines (0,02% de formaldéhyde libre) aurait amené les expositions en bas de 0,1 ppm dans la majorité des fonderies utilisant le procédé « Croning » et en bas de 0,5 ppm dans la très grande majorité d'entre elles. Pour le procédé « boîte chaude » la diminution de formaldéhyde libre dans les résines de 8-12% à 4% puis sous la barre de 3% aurait été suffisante pour diminuer l'exposition en dessous de 1 ppm sans aucune amélioration à la ventilation. Or plus de 50% des valeurs ayant servies à la construction des matrices proviennent de mesures prises avant 1992. Il est donc logique de croire que la situation représentée par le tableau 18 n'a pu que s'améliorer si le changement de procédés et l'amélioration des résines se sont accentués dans les dix dernières années.

Pour confirmer cette hypothèse, des fournisseurs de résines pour les sables de fonderie ont été contactés afin d'analyser l'évolution du marché depuis le début des années 90. Dans un premier temps nous avons vérifié que le marché québécois a eu un profil semblable au marché des États-Unis ; par la suite nous avons sondé le plus gros fabricant de résines aux États-Unis à propos des améliorations technologiques apportées à ces produits et l'impact de ces améliorations sur l'exposition au formaldéhyde.

Le représentant technique de la compagnie Hickman-Williams, l'un des grands fournisseurs de produits de fonderies au Québec, indique que les fonderies québécoises ont suivi le courant observé aux États-Unis avec quelques années de retard. Cela vaut autant pour l'utilisation accrue de résines à faible émission de formaldéhyde que pour la transition des procédés de moulage – noyautage thermiques vers les procédés autodurcissants (Communication personnelle, M. Bruno Germain, 2003-07-15).

La compagnie Ashland Inc., par sa division Specialty Chemicals – Casting Solutions, est l'un des plus importants fabricants de résines pour les sables de fonderies aux États-Unis. Le passage des procédés thermiques aux procédés autodurcissants de moulage – noyautage s'est accentué dans la deuxième moitié des années 90. De plus l'amélioration des résines à basse émission de formaldéhyde a continué ; ces résines contiennent généralement moins de 0,1% de formaldéhyde libre. Il existe encore sur le marché actuel des résines à plus haute émission de formaldéhyde mais celles-ci ne représentent plus qu'une très faible partie du marché. Seules les compagnies utilisant ces résines pourraient être affectées par un changement de VEA parce que ces « vieilles » résines coûtent moins cher (Communications personnelles, R. Montgomery et J. Archibald, 2003-09-02).

La section Environmental Affairs de l'American Foundry Society (AFS), pour sa part, croit que la très grande majorité des fonderies pourraient facilement se conformer à une VEA 8h de 0,75 ppm si ce n'est déjà le cas. Certaines fonderies pourraient avoir des difficultés à se conformer à une VEA 8h de 0,3 ppm. De plus, l'AFS estime qu'aucune VEA en valeur plafond sous la barre de 2 ppm n'est pas techniquement atteignable (Communication personnelle, G. Mosher, 2003-09-08).

La première conclusion est certainement qu'il y a eu une nette amélioration chez toutes les professions. En deuxième lieu, le niveau d'amélioration est difficile à quantifier de manière précise compte tenu du peu d'information quantitative disponible. Cette dernière affirmation nous a mené à créer trois catégories d'amélioration, soit celle pour les employés dont le type de travail est connexe à la production, celle pour les employés de production dont l'exposition au formaldéhyde est secondaire et celle pour les employés directement impliqués avec les matériaux et les procédés reliés au formaldéhyde. Le traitement de ces informations mène à la transformation du tableau 17 au tableau 18.

Tableau 18 : Distribution en pourcentage des travailleurs des fonderies par plages de concentrations suite au processus d'expertise

Professions normalisées	**Distribution des travailleurs selon les niveaux d'exposition en ppm Pour VEMP et valeur plafond**				
	HCHO≤0,3	**0,3<HCHO≤ 0,75**	**0,75<HCHO≤ 1**	**1<HCHO≤ 2**	**HCHO>2**
Réceptionnaire	99%	1%	0%	0%	0%
Préparateur des sables	90%	9%	1%	0%	0%
Mouleur / Noyauteur	90%	9%	1%	0%	0%
Fondeur	95%	5%	0%	0%	0%
Opérateur de décochage	95%	5%	0%	0%	0%
Finisseur	95%	5%	0%	0%	0%
Technicien de labo	99%	1%	0%	0%	0%
Nettoyeur	99%	1%	0%	0%	0%
Électricien, mécanicien	99%	1%	0%	0%	0%
Autres	99%	1%	0%	0%	0%

7.2.4 Matrice emploi-exposition

Le produit de la colonne « Toutes grandeurs » du tableau 14 par les pourcentages définis dans le tableau 18 conduit à la matrice présentée au tableau 19.

Tableau 19 : Distribution du nombre de travailleurs de fonderies par plages de concentrations

Profession normalisée	Distribution des travailleurs selon les niveaux d'exposition en ppm Pour VEMP et valeur plafond				
	HCHO≤ 0,3	0,3<HCHO≤ 0,75	0,75<HCHO≤ 1	1<HCHO≤ 2	HCHO>2
Réceptionnaire	86	1	0	0	0
Préparateur des sables	94	9	1	0	0
Mouleur / Noyauteur	465	46	5	0	0
Fondeur	144	8	0	0	0
Opérateur de décochage	90	5	0	0	0
Finisseur	628	34	0	0	0
Technicien de labo	77	1	0	0	0
Nettoyeur	76	1	0	0	0
Électricien, mécanicien	211	2	0	0	0
Autres	321	3	0	0	0
Total	2192	110	6	0	0

7.2.5 Matrice établissement-exposition

En appliquant la distribution du total des travailleurs par plage d'exposition au nombre total d'établissements établi au tableau 12, on obtient le tableau 20. Cette solution est la seule disponible pour fournir cette matrice puisqu'aucune information ne permettait de réaliser cette matrice, ni dans la littérature, ni dans les bases de données, ni dans le marché québécois.

Tableau 20 : Distribution des établissements par plages de concentrations

Établissements	Distribution selon les niveaux d'exposition en ppm Pour VEMP et valeur plafond				
	HCHO≤ 0,3	0,3<HCHO≤ 0,75	0,75<HCHO≤ 1	1<HCHO≤ 2	HCHO>2
% des travailleurs	95	4,8	0,2	0	0
Établissements (32)	30	2	0	0	0

8. SOURCES D'EXPOSITION

Dans les fonderies, les émissions de formaldéhyde proviennent essentiellement de la fabrication des noyaux et des moules.

Les principaux déterminants de l'exposition sont :

- Type de production : moulage à modèles permanents (moules ou noyaux en sable), moulage à modèles perdus, moulage en moules métalliques ou procédés spéciaux
- Type de procédés de moulage-noyautage
- Type de métaux traités : acier – fer (fonte) – aluminium – cuivre et alliages – autres métaux (zinc, plomb, ...)
- Types de résines utilisées : UF; PF; PU; UPF; UF/AF; PF/AF; PF/UF ; UF/PF/AF
- Pourcentage de formaldéhyde libre dans la résine utilisée
- Taux moyen de production
- Ventilation générale
- Ventilation par aspiration localisée
- Méthodes de travail
- Programmes de protection respiratoire.

9. CORRECTIFS ET PRÉVENTION

Trois éléments de maîtrise de l'exposition peuvent être envisagés soit la substitution, les ventilations générale et par captage à la source et les équipements de protection individuelle.

Une analyse rétrospective de l'impact du règlement d'OSHA sur le formaldéhyde au début des années 1990 et du processus de RIA (Regulatory Impact Assessment) a été réalisée par Stone pour le secteur des fonderies (65). Cette étude a permis d'identifier certaines difficultés méthodologiques mais aussi de réévaluer les coûts estimés par OSHA de certaines solutions de rechange et d'identifier d'autres coûts non prévus.

Stone a confirmé l'hypothèse que les procédés de moulage – noyautage « boîte chaude » et « Croning » étaient les plus susceptibles d'engendrer de fortes expositions au formaldéhyde suivis par les procédés « boîte tiède » et certains procédés autodurcissants comme les « furanniques » et « phénoliques ».

Parmi les difficultés méthodologiques mentionnées, l'incapacité d'identifier adéquatement, dans le sondage d'OSHA, l'activité industrielle réelle des fonderies type de procédé de moulage – noyautage, liant utilisé, nombre de machines fonctionnant simultanément, etc) a entraîné une surévaluation de certains coûts et une sous-évaluation d'autres coûts. Par exemple, les

estimations des coûts de ventilation, considérée par OSHA comme la seule solution de rechange possible, auraient été sous-évalués par un facteur de deux pour le procédé « boîte chaude» (65).

La substitution des résines à basse émission de formaldéhyde, déjà disponibles au moment du processus de RIA, une solution sans coût significatif pour nombre de fonderies, n'a pas été envisagée par OSHA.

À cause des effets irritatifs du formaldéhyde, les équipements de protection individuelle doivent protéger les voies respiratoires et les yeux (66).

- Pour des concentrations supérieures à 20 ppm, qui est la concentration de danger immédiat pour la vie et la santé (DIVS), le port d'un appareil respiratoire autonome est obligatoire
- Pour les concentrations de formaldéhyde en deçà de 20 ppm et jusqu'à la valeur admissible, le port d'un masque complet à cartouches filtrantes est recommandé. Selon le facteur de protection nécessaire, un masque complet (facteur de protection de 100) ou un demi-masque (facteur de protection de 10) est utilisé. Si un demi-masque est utilisé, il faut également porter des lunettes protectrices étanches.

10. IMPACTS SUR LA SANTÉ

Afin de déterminer les impacts sur la santé d'un abaissement de la valeur d'exposition admissible au formaldéhyde, il a été nécessaire d'établir la relation entre l'exposition au formaldéhyde dans divers milieux de travail au Québec et l'apparition d'effets sur la santé à partir des données existantes dans la littérature scientifique puis de l'appliquer au secteur concerné.

10.1 Établissement de la relation entre l'exposition et les effets sur la santé

Les effets choisis dans le cadre de cette analyse sont les effets les plus précoces, c'est-à-dire que ce sont les premiers effets à apparaître. Il s'agit donc des effets irritatifs des muqueuses et des voies respiratoires supérieures, principalement les yeux, le nez et la gorge. Les autres effets causés par le formaldéhyde sont décrits en détail dans l'annexe 1 du rapport final, mais ne seront pas abordés dans cette partie.

Après un choix critique de la littérature appropriée à l'aide de critères préétablis et l'extraction des données rapportées dans les différents articles retenus (dont les durées d'exposition varient de 90 secondes à 3 heures), la relation entre l'exposition au formaldéhyde et l'apparition d'effets irritatifs a été établie. L'analyse de l'ensemble de ces données a permis de calculer le pourcentage moyen de réponse attribuable à une exposition au formaldéhyde (pourcentage de travailleurs susceptibles de présenter des irritations) selon le site d'effet irritatif considéré (irritation des yeux, du nez ou de la gorge) et la concentration d'exposition (0 ppm, 0,3 ppm, 0,75 ppm, 1,0

ppm et 2,0 ppm). Les effets ont été catégorisés selon leur sévérité : effet modéré (supportable ou gênant) ou effet sévère. La démarche suivie pour la construction du tableau des résultats est détaillée dans l'annexe 1 du rapport final.

Le tableau 21 présente le pourcentage théorique moyen de personnes susceptibles de présenter des irritations pour les diverses concentrations d'exposition considérées, déterminé à partir de l'ensemble des études de la littérature avec un degré de confiance suffisant pour être retenues et à partir des régressions linéaires effectuées.

Tableau 21 : Pourcentage moyen théorique de travailleurs susceptibles de présenter des effets irritatifs modérés ou sévères aux yeux, au nez et à la gorge selon leur exposition au formaldéhyde

Effet considéré	Pourcentage de travailleurs				
	0--< 0,3 ppm	0,3–0,75 ppm	0,75–1,0 ppm	1,0- <2,0 ppm	≥ 2,0 ppm
Irritation des yeux – effet modéré	0 %	0 %	6,3 %	10,1 %	14,9 %
Irritation des yeux – effet sévère	0 %	0 %	0 %	0,8 %	1,9 %
Irritation du nez – effet modéré	0 %	0 %	1,6 %	4,5 %	12,4 %
Irritation de gorge – effet modéré	0 %	0 %	1,6 %	4,6 %	12,6 %

Ce tableau indique donc que, par exemple, parmi les travailleurs exposés à une concentration en formaldéhyde entre 0,75 ppm et 1,0 ppm, 6,3 % d'entre eux sont susceptibles de présenter des irritations modérées des yeux, aucun ne serait susceptible de présenter des irritations sévères des yeux et 1,6 % d'entre eux pourraient présenter des irritations modérées du nez ou de la gorge.

Cependant, il est à noter que :

- Les classes d'exposition les plus faibles présentent un pourcentage de réponse nul attribuable à l'exposition au formaldéhyde puisque le bruit de fond (fréquence d'apparitions des irritations observées en milieu contrôlé à la concentration zéro) a été retranché (67,68). Tous les pourcentages mentionnés dans le tableau se réfèrent exclusivement aux effets irritatifs attribuables au formaldéhyde
- L'apparition des effets n'est pas reliée à la durée de l'exposition. Les effets apparaissent rapidement après le début de l'exposition, mais ne s'aggravent pas avec le temps. Il ne semble pas y avoir d'effet cumulatif de l'exposition pour les effets irritatifs car les études de la littérature présentent des pourcentages de réponse semblables et des effets de sévérité semblable pour des durées d'exposition variant entre 90 secondes et 3 heures (69)
- Les effets mentionnés dans le tableau sont des effets réversibles et cessent peu de temps après l'arrêt de l'exposition

- La fréquence d'apparition des effets modérés augmente lorsque la concentration d'exposition s'intensifie
- La catégorie "effets modérés" regroupe à la fois les effets modérés supportables et les effets modérés gênants, mais, en majorité, les effets rapportés dans la littérature, dans le cadre d'études contrôlées, pour des concentrations allant jusqu'à 3 ppm sont plutôt supportables que gênants
- Les effets sévères apparaissent pour des concentrations élevées, supérieures à 1 ppm. Ces effets ne se manifestent que pour les yeux, et en très faibles proportions. Ils n'apparaissent pas pour le nez et la gorge pour des concentrations inférieures à 3 ppm
- Les données de la littérature permettent d'estimer le nombre de travailleurs susceptibles de présenter un effet donné, mais ne permettent pas de dire si ce sont les mêmes travailleurs qui auront tendance à présenter les différents symptômes, ou si ce sont des travailleurs différents.

Les données de la littérature montrent que la durée de l'exposition modifie très peu le pourcentage de personnes présentant des symptômes et le degré de sévérité de ces symptômes de type irritatif, du moins pour des expositions allant de 90 secondes à 3 heures à la même concentration. Les pourcentages de réponse ont été appliqués indifféremment aux matrices d'exposition moyenne pondérée et plafonds (se référer à l'annexe 1 du rapport final pour plus de détails). Les durées d'exposition les plus courtes rapportées dans les études de la littérature sont de 90 secondes (69), ce qui est du même ordre que les valeurs plafonds effectivement mesurées par l'instrument à lecture directe soit des moyennes sur une minute.

Ainsi, la relation dose-réponse établie sur la base des données de la littérature (tableau 21) peut être appliquée aux matrices d'exposition du secteur des fonderies (tableau 19) et permet d'estimer le nombre moyen théorique de travailleurs susceptibles de présenter des effets irritatifs.

10.2 Application de la relation au secteur des fonderies

Le tableau 22 rapporte le nombre de travailleurs susceptibles de présenter des effets irritatifs en fonction de la concentration d'exposition moyenne pondérée sur 8 heures et plafond.

Tableau 22 : Nombre théorique de travailleurs du secteur des fonderies susceptibles de présenter des effets irritatifs en fonction de la concentration

	Nombre de travailleurs				
Concentration de formaldéhyde	**0 - < 0,3 ppm**	**0,3 - < 0,75 ppm**	**0,75 - < 1,0 ppm**	**1,0 - < 2,0 ppm**	**≥ 2,0 ppm**
Effet considéré	**VEMP**				
Irritation des yeux – effet modéré	0	0	0	0	0
Irritation des yeux – effet sévère	0	0	0	0	0
Irritation du nez – effet modéré	0	0	0	0	0
Irritation de gorge – effet modéré	0	0	0	0	0
Effet considéré	**PLAFOND**				
Irritation des yeux – effet modéré	0	0	0	0	0
Irritation des yeux – effet sévère	0	0	0	0	0
Irritation du nez – effet modéré	0	0	0	0	0
Irritation de gorge – effet modéré	0	0	0	0	0

Pour l'ensemble des 2 308 travailleurs de ce secteur, ces résultats signifient que :

- Pour les valeurs VEMP 8 heures :
  - Aucun travailleur ne serait susceptible de présenter des effets irritatifs dus à une exposition au formaldéhyde.
- Pour les valeurs plafonds :
  - Aucun travailleur ne serait susceptible de présenter des effets irritatifs dus à une exposition au formaldéhyde.

11. IMPACTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Les matrices des tableaux 19 et 20 indiquent que l'abaissement de la valeur d'exposition admissible du formaldéhyde à 0,75 ppm en valeur d'exposition moyenne pondérée ou en valeur plafond n'aurait aucun impact socio-économique sur le secteur des fonderies. Toutefois, l'abaissement à la valeur de 0,3 ppm nécessiterait le recours à de la ventilation locale ou générale pour un petit nombre de travailleurs (116/2192) dans un petit nombre d'industries (2/32), ce qui ne causerait qu'un effet minime sur la rentabilité du secteur. Puisque aucun travailleur ne serait susceptible de présenter des effets irritatifs dus à une exposition au formaldéhyde, aucun gain en perte de temps évitées ne serait fait.

Le tableau 23 donne un bref portrait économique du secteur des fonderies qui renforce la conclusion que l'impact socio-économique d'un abaissement de la norme serait minime.

Tableau 23 : Bref portrait économique des fonderies au Canada et au Québec en 2001

Code	Description SCIAN	Nombre		Salaire des travailleurs (total des employés) (x 1 000)	Valeur des livraisons (x 1 000)	Valeur ajoutée (x 1 000)
		Etablissement	Travailleurs production (total des salaries)			
Canada 2001						
331511	Fonderies fer	100	5 663 (6 675)	275 250 (337 497)	1 207 232	632 775
331514	Fonderies d'acier	47	2 353 (2 883)	81 134 (106 266)	296 946	171 336
331523	Fonderies métaux non ferreux, moulage	46	3 392 (3 979)	133 242 (171 576)	725 594	372 136
331529	Fonderies métaux non ferreux (sauf moulage)	68	3 895 (4 537)	189 821 (239 905)	1 042 461	509 092
Québec 2001						
331511	Fonderies de fer	24	1 158 (1 341)	37 194 (44 204)	226 195	130 039
331514	Fonderies d'acier	12	534 (644)	16 746 (21 422)	61 254	33 614
331523	Fonderies de métaux non ferreux, moulage	13	908 (1 090)	25 239 (34 700)	156 366	102 357
331529	Fonderies métaux non ferreux (sauf moulage)	17	507 (638)	14 247 (20 734)	62 470	40 588

Source : Statistique Canada, tableau 301-0003, Enquête annuelle des manufactures (EAM), Octobre 2003.

12. CONCLUSIONS

Les principales conclusions de l'étude de l'exposition au formaldéhyde des travailleurs de fonderies sont :

- Le secteur « Fonderies » est un sous-ensemble des établissements du grand Groupe 29 « Industries de première transformation des métaux » de la CAEQ . Après examen des procédés, les codes CAEQ suivanst ont été exclus : 2911 – Industrie des ferro-alliages, 2919 – Autres industries sidérurgiques, 2921 – Industrie des tubes et des tuyaux d'acier, 2951 – Industrie de la production d'aluminium de première fusion, 2959 – Autres industries de la fonte et de l'affinage de métaux non ferreux, 2961 – Industrie du laminage de l'aluminium. Par contre, ont été retenus les codes 2912 – Fonderies d'acier et 2941 – Fonderies de fer, qui ne contiennent que des activités de moulage, ainsi que les codes 2962 - Industrie du moulage et de l'extrusion de l'aluminium, 2971 - Industrie du laminage, du moulage et de l'extrusion du cuivre et de ses alliages et 2999 -Autres industries du laminage, du moulage et de l'extrusion de métaux non ferreux, qui contiennent d'autres activités en plus des activités de moulage

- L'exposition telle qu'évaluée par expertise, répartit le nombre de travailleurs dans la matrice secteur d'activité économique/exposition, de la façon suivante :

VEA (ppm)	<0,3	0,3-0,75	0,75-1,0	1,0-2,0	>2,0
Exposition moyenne pondérée	2192	110	6	0	0
Plafond	2192	110	6	0	0

Les travailleurs les plus exposés sont les mouleurs noyauteurs

- Les principales sources d'émission sont la préparation du moule et le démoulage

- Aucun travailleur ne serait susceptible de présenter des effets irritatifs modérés ou sévères dus à une exposition au formaldéhyde mais ceci n'exclut pas qu'il pourrait y avoir des effets irritatifs légers

- L'abaissement de la valeur d'exposition admissible du formaldéhyde à 1,0 ou 0,75 ppm en valeur d'exposition moyenne pondérée ou en valeur plafond n'aurait aucun impact économique sur le secteur des fonderies

- L'abaissement à la valeur de 0,3 ppm plafond nécessiterait le recours à de la ventilation locale ou générale pour un petit nombre de travailleurs, dans un petit nombre d'industries, ce qui n'aurait qu'un effet minime sur la rentabilité du secteur. Dans l'état actuel des connaissances, aucun gain pour la santé des travailleurs ne serait fait.

13. RÉFÉRENCES

1. Perrault G., Goyer N., Hébert F., Duguay P., Ostiguy C., Truchon G., Baril M., Gratton L., Arcan R., Gérin M., Bégin D., Bonvalot Y., Carrier G., Lefebvre P.et Pallage S. : Étude préliminaire sur l'évaluation de l'impact d'un abaissement des valeurs d'exposition admissibles pour le formaldéhyde. Rapport R-257, IRSST. (2000).
2. Bureau de la statistique du Québec : Classification des activités économiques du Québec (CAEQ), Les Publications du Québec. (1984).
3. Statistique Canada : Classification type des industries (CTI). Division des normes, Ottawa, ON. (1980).
4. Statistique Canada : Système de classification des industries de l'Amérique du Nord (SCIAN) : Canada 1997. Statistique Canada, Division des normes, Ottawa. (1998).
5. Cuenin P. : Industrie de la fonderie. Techniques de l'ingénieur, Fascicule M3500, Paris. (2000).
6. Mirer F.: Les *Fonderies*. In: Encyclopédie de sécurité et de santé au travail, Volume III, 3e édition française, traduction de la 4e édition anglaise, pp. 82.13-82.22. J. Mager Stellman, rédactrice, Bureau international du travail, Genève. (2002).
7. Cuenin P. : Techniques de fabrication, généralités. Techniques de l'ingénieur, Fascicule M3510, Paris. (2000).
8. Cuenin P. : Moulage - Noyautage. Techniques de l'ingénieur, Fascicules M3512 et M3513, Paris. (2000).
9. Trager H.: *Foundry technology*. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Volume A12, Fifth Edition, pp. 35 - 46. VCH Verlagsgesellschaft mbH, Weinheim. (1989).
10. Rochier M., Lahalle J.-P. Caractéristiques comparées des procédés de moulage et de noyautage, 1ère Partie, Fonderie - Fondeur d'aujourd'hui, No. 60. Décembre 1986.
11. Rochier M., Lahalle J.-P. Caractéristiques comparées des procédés de moulage et de noyautage, 2e Partie, Fonderie - Fondeur d'aujourd'hui No.61. Janvier 1987.
12. Rochier M., Lahalle J.-P. Caractéristiques comparées des procédés de moulage et de noyautage, 3e Partie, Fonderie - Fondeur d'aujourd'hui No.62. Ffévrier 1987.
13. Jasson P. : Sables et matériaux de moulage de fonderie. Techniques de l'ingénieur, Fascicule M3575, Paris. (1999).
14. Gérin M., Nadon L., Bergeret A. : Le formaldéhyde en milieu de travail - Revue générale. Travail et santé 1(2):S34-S42. (1985).
15. Bézard F., Dubois J.P., Jourdain P., Laplaiche N., Richard P., De Roll P., Rolland A.M., Roussel D., Scalbert J., Violette E. : Les fonderies: procédés de noyautage. Documents pour le médecin du travail N0 55:251-258. (1993).

16. Dahlquist I. Contact allergy to colophony and formaldehyde from sand cores. Contact Dermatitis 7(3):167-168. (1981).

17. Gunter B.J., Lee S.A.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 88-127-1903: CF&I Steel Corporation, Pueblo, Colorado. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1988).

18. Clark N.J., O'Brien D.M., Edmonds M.A., Gressel M.G.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 91-092-2190: William Powell Company, Cincinnati, Ohio. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1992).

19. Clark Burton N.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 93-0492-2419: LTV Steel Tundish Yard, East Chicago, Indiana. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1994).

20. Burr G.A., Sinks T.H.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 85-295-1907: General Electric Carboloy Systems, Detroit, Michigan. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1988).

21. Landrigan P.J., Lewis F.A., Cherniack M.G., Catlett L.R.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 82-302-1461: East Penn Foundry, Macungie, Pennsylvania. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1984).

22. Lu as A.D., Klemme J.C.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 88-80-124, 230-1168: Aluminum Company of America, Alcoa, Tennessee. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1982).

23. Markel H.L., Slovin D.L.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 79-157-1212:Crane Company, Rogers, Arkansas. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1982).

24. McAuley D.B., Blanc P., Wallingford K.M.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 83-174-1718: Cooper Energy Services Corporation, Groves City, Pennsylvania. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1986).

25. McManus K.P., Bicknell R.J., Klincewicz S.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 86-284-1914: H.B. Smith Company, Inc. Westfield, Massachusetts. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1988).

26. Montopoli M., Seligman P., O'Brien D., Zaebst D.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 88-244-1951: Orrville Bronze and Aluminum Company, Orrville, Ohio. United

States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1989).

27. Rosenman K., Igliewicz R., Seixas N.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 83-222-1631: Metz Metallurgical, South Plainfield, NJ. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1985).

28. Stephenson R.L., Albrecht W.N.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 85-482-1730, HETA-86-116-1730: Winters Industry Foundry, Canton, Ohio. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1986).

29. Andjelkovich D.A., Shy C.M., Brown M.H., Janszen D.B., Leviene R.J., Richardson R.: Mortality of Iron Fondry Workers: III. Lung Cancer Case-Control Study. Journal of Occupational Medicine 36 (12):1301-1309. (1994).

30. Andjelkovich D.A., Mathew R.M., Yu R.C., Richardson R., Leviene R.J.: Mortality of Iron Foundry Workers: II. Analysis by Work Area. Journal Of Occupational Medicine 34(4):391-401. (1992).

31. Andjelkovich D.A., Mathew R.M., Richardson R., Leiene R.J.: Mortality of Iron Foundry Workers: I. Overall Findings. Journal of Occupational Medicine 32 (6):529-539. (1990).

32. Andjelkovich D.A., Brown M., Janszen D.B., Richardson R., Miler F.J.: Mortality of Iron Foundry Workers: IV. Analysis of a Subcohort Exposed to Formaldehyde. Journal of Occupational and Environmental Medicine 37 (7):826-837. (1995).

33. Johnson A., Chan-Yeung M., Maclean L., Atkins E., Dybuncio A., Cheng F., Enarson D.: Respiratory Abnormalities Among Workers in an Iron and Steel Foundry. British Journal of Industrial Medicine 42, No. 2:94-100. (1985).

34. Virtamo M., Tossavainen A.: Gases formed from furan binding agents. Scandinavian journal of Work, Environment & Health Vol.2, Supplement 1:50-53. (1976).

35. Kay R.W.: A Survey Into the Fumes Evolved fron Foundry Sand Binders Based on Synthetic Resins. British Foundryman Jan.:1-4. (1974).

36. Starr C.: Brief Review of Non-ferrous core-and mold-making Processes. Foundry Trade Journal 124, No. 2676:467-470. (1968).

37. Smillie M.V., Beach J.R., Fletcher A.C., Glass D.C., Humfrey C.D.N., Levy L.S.: Criteria Document to Review the Effects on Health of Airborne Substances in the Ferrous Foundry Environment. United Kingdom Health and Safety Executive Contract Research Report No. 65/1994 to The Institute of Occupational Health, The University of Birmingham, Birmingham, UK. Published by HSE Books, Sudbury, Suffolk, UK. (1994).

38. Schmittner H.: Arbeitsmedezinische und arbeitshygienische Untersuchungen beim Cold-Box- und maskenformverfahren (Occupational medicine and hygiene: Investigation of Cold-box and Shell-Moulding procedures). Giesserei 71(23):895-902. (1984).

39. Ahman M., Alexandersson R., Ekholm U., Bergström B., Dahlqvist M., Ulfvarson U.: Impeded lung function in moulders and coremakers handlinf furan resin sand. International Archives of Occupational and Environmental Health 63:175-180. (1991).

40. Niemelä R., Priha E., Heikkilä P.: Trends of Formaldehyde Exposure in Industries. Occupational Hygiene 4:31-46. (1997).

41. Ahrenholz S.H.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 86-125-1853: Empire-Detroit Steel Division, Mansfield, Ohio. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1987).

42. Low I., Mitchell C.: Respiratory Desease in Foundry Workers. British Journal of Industrial Medicine 42, No. 2:101-105. (1985).

43. Hartle R., Slovin D.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 80-081-1173: Keokuk Steel Castings, Incorporated, Keokuk, Iowa. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1982).

44. Apol A.G.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 81-133-1110: Gerlinger Casting Corp., Salem, Oregon. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1982).

45. Centaur Associates Case Studies of Formaldehyde Exposure Control in Six Industries - Prepared for the Occupational Safety and Health Administration under contract with the Office of Regulatory Analysis. United States Department of Labor, Occupational Safety and Health Administration (OSHA Docket No. H-225, Exhibit No. 85-116), Washington, DC. (1986).

46. Clark Burton N., Kinnes G., Hall R., Todd W.A. *Health Hazard Evaluation Report No. HETA-92-090-2296, General Castings Toledo Street Facility, Delaware, Ohio.* In: Hazard Evaluations and Technical Assistance Branch, NIOSH., pp. 31 pages. NIOSH, Ed. NIOSH, Cincinnati, Oh. (1993).

47. Clark Burton N., Edmonds M.A., Decker J.A., Kovein R.J. Health Hazard Evaluation Report No. HETA 90-044-2265: General Castings Co. Liberty Road Facility, Delaware, Ohio. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1992).

48. Clark Burton N., Burr G.A.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 92-157-2304: The General Castings Co. - Domestic Division, Shippenburg, Pennsylvania. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1993).

49. Clark Burton N., O'Brien D.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 92-092-2333: General Castings - Power Sreet Facility, Cincinnati, Ohio. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1993).

50. Clark Burton N., McCullough J.: Health Hazard Evaluation Report HETA #98-0237-2872, Mueller Company, Chattanooga, Tennessee. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (2002).

51. Cone J., Johnson P.L., Gorman R., Thoburn T.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 78-121-1071: Allis-Chalmers Corporation, West Allis, Wisconsin. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1982).

52. Di Lorenzo L., Zocchetti C., Carpinelli G., Capozzi D., Margiotta M., De Francesco G., De Metrio R. Respiratory mucus transportability is impaired in foundry workers: a longitudinal study. La medicina del lavoro 89(4):323-333. (1998).

53. Elliott L.J., Echt A.: *Health Hazard Evaluation Report No. HETA-88-240-2210, The Mueller Company, Decatur, Illinois.* In: Hazard Evaluations and Technical Assistance Branch, NIOSH., pp. 24 pages. NIOSH, Ed. NIOSH, Cincinnati, OH. (1992).

54. Main D.M. Hermannn E.: Respiratory Status of Foundry Workers Exposed to Formaldehyde. American Review of Respiratory Diseases 129, suppl. 4:A157. (1984).

55. Stephenson R.L., Fox S.H.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 82-348-1442: The Dotson Company, mankato, Minnesota. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1984).

56. Kominsky J.R., Wilcox T., Lucas C.: *Health Hazard Evaluation Report No. HETA 83-015-1809, Wellman Dynamics Corporation, Creston, Iowa.* In: Hazard Evaluations and Technical Assistance Branch. NIOSH., Cincinnati, OH. (1987).

57. Westberg H.B., Seldén A., Bellander T.: Exposure to Chemical Agents in Swedish Aluminium Foundries and Aluminium Remelting Plants - A Comprehensive Survey. Applied Occupational and Environmental Hygiene 16 (1):66-77. (2001).

58. Priante E., Marcuzzo G., Gori G., Saia B., Bartolucci G.B. Rischi lavorativi in una azienda produttrice di ruote in lega di allumino. La medicina del lavoro 83(5):461-465. (1992).

59. Rey B.D.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 95-0153-2549: Fort Wayne Foundry Machining Division, Fort Wayne, Indiana. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1995).

60. Ahrenholz S.H., Lipscomb J.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 82-096-1259: Kaiser Aluminum and Chemical Corporation, ravenswood, West Virginia. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1983).

61. Filios M., Burkhart J.E., Cornwell R.J.: Health Hazard Evaluation Report No. HETA 90-0286-2428: Kaiser Aluminum, Trentwood Works, Spokane, Washington. United States Department of Health and Human Services, Public Health Service, Center for Disease Control, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, OH. (1994).

62. Mulhausen J.R., Diamano J.: A Strategy for Assessing and Managing Ocupational Exposures. AIHA Press, Fairfax, VA. (1998).

63. Buringh E., Lanting R.: Exposure Variability in the Workplace: Its Implications for the Assessement of Compliance. American Industrial Hygiene Association Journal 52(1):6-13. (1991).

64. Kromhout H., Symansky E., Rappaport S.M.: A comprehensive evaluation of within- and between-worker components of occupational exposure to chemical agents. Annals of Occupational Hygiene 37(3):253-270. (1993).

65. Stone R.F.: A retrospective analysis of the economic impact on foundries of OSHA's 1987 formaldehyde standard. Econotron, Inc. (NTIS No. PB96-108626), Framingham, MA. (1994).

66. Lara J. et Venne M. : Guide pratique de protection respiratoire. Rapport R-319, IRSST. 2002.

67. Kulle T.J., Sauder L.R., Hebel J.R. and Green D.J. : "Formaldehyde Dose-response in Healthy Nonsmokers." JAPCA 37: 919-924. (1987).

68. Weber-Tschopp A., Fischer T. and Grandjean E.: "Irritating Effects of Formaldehyde on Men." International Archives of Occupational and Environmental Health 39: 207-218. (1977).

69. Witek T.J., Schachter E.N., Tosun T. and Leaderer B.P. : "An Evalutation of Respiratory Effects Following Exposure to 2.0 ppm Formaldehyde in Asthmatics: Lung Function, Symptoms, and Airway Reactivity." Archives of Environmental Health 42(4): 230-237. (1987).

APPENDICE 1 : ÉQUIVALENCE ENTRE LES SYSTÈMES DE CLASSIFICATION DES ACTIVITÉS ÉCONOMIQUES

CLASSE INDUSTRIELLE CAEQ 1984	CLASSE INDUSTRIELLE CTI 1980	CLASSE INDUSTRIELLE SCIAN 1997
2912 Fonderies d'acier	2912 Fonderies d'acier	331514# - Fonderies d'acier
2941 Fonderies de fer	2941 Fonderies de fer	331511* - Fonderies de fer
		332810* - Revêtement, gravure, traitement thermique et activités analogues
2962 Industrie du moulage et de l'extrusion de l'aluminium	2961* Industrie du laminage, du moulage et de l'extrusion de l'aluminium	331317* - Laminage, étirage, extrusion et alliage de l'aluminium
		331529* - Fonderies de métaux non ferreux (sauf moulage sous pression) *(aluminium)*
		332113* - Forgeage
		332810* - Revêtement, gravure, traitement thermique et activités analogues
2971 Industrie du laminage, du moulage et de l'extrusion du cuivre et de ses alliages	2971 Industrie du laminage, du moulage et de l'extrusion du cuivre et de ses alliages	331420* - Laminage, étirage, extrusion et alliage du cuivre
		331529* - Fonderies de métaux non ferreux (sauf moulage sous pression) *(cuivre)*
		332113* - Forgeage
		332810* - Revêtement, gravure, traitement thermique et activités analogues
2999 Autres industries du laminage, du moulage et de l'extrusion de métaux non ferreux	2999 Autres industries du laminage, du moulage et de l'extrusion de métaux non ferreux	331490* - Laminage, étirage, extrusion et alliage de métaux non ferreux (sauf l'aluminium et le cuivre)
		331523* - Fonderies de métaux non ferreux, moulage sous pression
		331529* - Fonderies de métaux non ferreux (sauf moulage sous pression) (sauf l'aluminium et le cuivre)
		332113* - Forgeage
		332810* - Revêtement, gravure, traitement thermique et activités analogues
		332999* - Fabrication de tous les autres produits métalliques divers

* : Lorsque la concordance met en rapport une classe CAEQ à seulement une partie d'une classe CTI ou SCIAN, cette relation partielle est désignée par un astérisque.

: La somme des travailleurs des classes du SCIAN dans la zone ombragée du tableau serait le chiffre le plus précis quant à l'ensemble de la main d'œuvre du secteur « Fonderies ».

APPENDICE 2 : DEMANDE D'EXPERTISE

Objectif

Obtenir une distribution type de la main d'œuvre d'une fonderie selon les professions/corps d'emploi normalisés pour ce secteur d'activité et selon sa taille.

Méthodologie

Dans le cadre d'un projet visant à déterminer l'impact socio-économique et sanitaire de la réduction d'une norme d'exposition des travailleurs du Québec au formaldéhyde, nous cherchons à établir un moyen de prédire les niveaux d'exposition des travailleurs au formaldéhyde sans prendre de mesure du contaminant dans l'air dans les usines du Québec.

Pour ce faire, nous avons choisi, dans un premier temps, de compiler, par profession normalisée,des mesures de formaldéhyde publiées dans des articles scientifiques; pour chaque article nous avons aussi compilé les facteurs qui nous ont semblé essentiels pour expliquer ces niveaux d'exposition. Des valeurs brutes recueillies on a tiré une distribution des niveaux d'exposition en n'utilisant que les valeurs où les facteurs sont semblables à ceux observés dans un échantillon de fonderies au Québec.

Dans un deuxième temps nous avons obtenu de la CSST et d'autres sources une description de la population des travailleurs et des fonderies; de cette description nous avons tiré le nombre d'usines et le nombre total de travailleurs selon la taille des fonderies (1 à 20 travailleurs, 21 100 travailleurs et plus grand que 100 travailleurs) et selon les procédés de moulage (acier, fonte, aluminium, autres métaux; moules en sables, moules permanents, cire perdues etc.). En multipliant ces nombres par les pourcentages de la main d'œuvre d'une fonderie dans chaque profession, on obtient le nombre de travailleurs par profession et par taille.

Dans un troisième temps on multiplie le nombre de travailleurs par la distribution de l'exposition et on obtient le nombre de travailleurs dans chaque catégorie d'exposition.

Pour obtenir la liste des pourcentages de la main d'œuvre d'une fonderie dans chaque profession, nous avons envisagé deux approches dont nous aimerions vérifier l'utilité : un sondage auprès d'un échantillon statistiquement représentatif de fonderies et l'opinion d'experts dans le domaine. Cette demande d'expertise vise à réaliser cette deuxième avenue.

Demande

Compléter le tableau de la page suivante au meilleur de votre connaissance pour l'ensemble du secteur des fonderies. Si vous jugez que cette distribution varie de façon significative selon le métal coulé ou les procédés industriels, vous pouvez séparer les tableaux en indiquant le procédé ou le métal selon le cas.

Distribution des employés par profession normalisée
selon la taille de la fonderie type pour les classes industrielles
« 2912, 2941, 2962, 2971, 2999 »

Pourcentage des travailleurs dans chaque catégorie de profession				
Code	**Profession normalisée**	**Petite 1-20 trav.**	**Moyenne 21-100 trav.**	**Grande >100 trav.**
1	Réceptionnaire des commandes			
2	Préparateur des sables de moulage et de noyautage			
3	Mouleur / Noyauteur			
4	Fondeur			
5	Opérateur de décochage			
6	Finisseur			
7	Technicien de laboratoire			
8	Nettoyeur (Entretien ménager)			
9	Électriciens, mécaniciens, plombiers, …			
10	Autres			
	Total	100 %	100 %	100 %

APPENDICE 3 : RAPPORT D'EXPERTISE DU CENTRE INTÉGRÉ DE FONDERIE ET DE MÉTALLURGIE

Évaluation de la distribution de la main-d'œuvre dans les fonderies.

No. de dossier : 741-21-965 IRSST

AQ-025A

Steve Phillips, ing.

31 mars 2003

Informations préliminaires :

Notre client, l'Institut de Recherche en Santé-Sécurité au Travail, réalise actuellement une étude portant sur l'impact socio-économique et sanitaire de la réduction d'une norme d'exposition des travailleurs du Québec au formaldéhyde. Ce travail exige de connaître le niveau d'exposition des travailleurs de fonderie à ce contaminant. Leur défi est de réussir à établir ces niveaux d'exposition de la façon la plus réaliste possible sans toutefois procéder à une série de prélèvements d'échantillons et d'analyses chimiques de l'air dans les usines du Québec. Ils ont plutôt compilé par fonction/tâches normalisées des données de taux d'exposition publiées dans des articles scientifiques et ajusté ces données en fonction de certains critères spécifiques à la réalité québécoise pour arriver à une distribution des niveaux d'exposition à la formaldéhyde.

Le mandat que le Centre a reçu était, à partir de l'expérience de travail de quelques chercheurs (4), de remplir le tableau 1 fourni par le Client. Ce tableau servira à dresser un profil de distribution de la main-d'œuvre des fonderies classées par leur taille (nombre d'employés).

Méthodologie :

Les activités suivantes ont été réalisées :

Distribution du tableau et des définitions des différentes fonctions/tâches aux personnes suivantes :

Guy Morin, ing. (Expertise dans la fonderie d'aluminium (sable) et la cire perdue).

Franco Chiesa Ph. D. (Enseignant au Cégep de Trois-Rivières, spécialisation en fonderie).

René Fugère, ing. (Expertise dans la fonderie d'acier au carbone et inoxydable).

Réjean Mailhot, techn. mét. (Enseignant au Centre de formation professionnelle Qualitech – secteur fonderie)

Discussion avec les quatre chercheurs afin de bien nuancer les réponses.

Compilation des résultats et rédaction du rapport.

Résultats :

Vous trouverez dans le tableau ci-dessous les résultats pour chacun des types de fonderie. Nous avons calculé une moyenne des résultats individuels pour chacune des trois tailles d'entreprises proposées.

Tableau 1 : Distribution des employés par profession normalisée selon la taille de la fonderie type

Code	Profession normalisée	Taille de la fonderie					
		Petite		Moyenne		Grande	
		1-20 travailleurs		21-100 travailleurs		>100 travailleurs	
		Nombre	%	Nombre	%	Nombre	%
1	Réceptionnaire des commandes	1	5,3%	2	3,4%	5	3,9%
	(définition du cahier de charge)						
2	Préparateur des sables de moulage et de noyautage	1	5,3%	3	5,2%	5	3,9%
3	Mouleur/Noyauteur	4	21,1%	15	25,9%	25	19,7%
4	Fondeur	1	5,3%	4	6,9%	8	6,3%
5	pérateur de décochage	1	5,3%	3	5,2%	4	3,1%
6	Finisseurs	4	21,1%	15	25,9%	40	31,5%
7	Techniciens de laboratoire	1	5,3%	2	3,4%	4	3,1%
8	Nettoyeurs (entretien ménager)	1	5,3%	2	3,4%	4	3,1%
9	Entretien (Électriciens, mécaniciens,	2	10,5%	4	6,9%	14	11,0%
	plombiers)						
10	Autres	3	15,8%	8	13,8%	18	14,2%
	Total	19	100%	58	100%	127	100%

Comme vous le verrez dans les résultats individuels, présentés en annexe, certains connaissaient suffisamment bien les trois types de fonderie et ont rempli le tableau au complet, alors que d'autres n'ont répondu que pour un seul type d'entreprise. Nous avons inclus ces résultats en annexe afin que vous puissiez faire votre propre interprétation, si nécessaire.

Dans la section « Autres » des différents tableaux, nous avons inclus des fonctions comme :

Président;	Directeur d'usine;
Secrétaire;	Commis / comptes recevables;
Comptable;	Commis / comptes payables;

Service de la paye;	Acheteur;
Magasinier;	Ingénieurs (conception et contr. procédé/qualité);
Dessinateurs;	Responsable de l'expédition des pièces;
Représentant des ventes;	Responsable santé-sécurité au travail ;
Conseiller ress. humaines;	Informaticien.

Dans une entreprise de plus de 100 employés, ces fonctions seront occupées par une ou plusieurs personnes selon la fonction.

Dans une petite fonderie, le propriétaire (président) s'occupera par exemple en plus de la gestion courante, des ventes, de la sélection et de l'embauche du personnel. La secrétaire-réceptionniste aura souvent comme tâches complémentaires la tenue des livres comptables, la paye et les achats. L'équipe de « staff » sera souvent complétée par un technicien ou un ingénieur qui agira à titre de contremaître dans l'usine, fera la planification des opérations, le contrôle de procédé et le contrôle de la qualité, en plus d'apporter un support technique à la vente. Les services d'ingénierie (modifications d'équipements, amélioration des procédés), de laboratoires (composition chimique, propriétés mécaniques des pièces) et les services informatiques seront réduits au minimum et donnés en sous-traitance.

Commentaires et discussion :

Voici un résumé des commentaires accompagnant les résultats livrés par les quatre chercheurs :

Il est difficile de faire un classement général par taille de fonderie seulement puisqu'il existe des différences marquées entre une fonderie de fonte œuvrant dans le domaine municipal et celle produisant des lampadaires d'aluminium ou encore des pièces de turbines en acier inoxydable. Par exemple, une fonderie d'acier aura dans son personnel autant de soudeurs faisant la réparation des pièces que de mouleurs, alors que la fonderie de fonte n'en aura aucun.

Un autre facteur, outre le type d'alliage métallique moulé, qui vient influencer le personnel de l'entreprise est son profil d'affaires. S'il s'agit d'une fonderie qui réalise des commandes spéciales à petits volumes, on peut s'attendre à ce qu'elle soit probablement moins automatisée que celle fabriquant des pièces de série à une cadence de production élevée et , par conséquent, qu'elle requiert plus de personnel de plancher (manœuvres) et moins de personnel technique et d'entretien. Il pourrait donc arriver que deux fonderies de taille comparable possèdent un profil de main-d'œuvre complètement différent.

Un troisième facteur à tenir en compte est la technologie ou le procédé utilisé. On pense ici aux fonderies utilisant les moules permanents (en acier ou en fonte), le moulage de précision à la cire perdue ou d'autres techniques comme le « lost foam ». Ces derniers types de fonderies n'ayant pas de sable à mouler, donc pas de sable contenant des liants chimiques, n'ont pas de préparateurs de sable, ni de mouleurs.

Conclusion :

Nous croyons que le tableau 1 représente bien la répartition moyenne de la main–d'œuvre dans les trois types de fonderies proposés par l'IRSST, mais il serait important de mentionner que l'étude doit porter uniquement sur le cas de fonderies utilisant le moulage au sable avec des liants à prise chimique, communément appelé sable « No-Bake » dans l'industrie.

Steve Phillips, ing.

Coordonnateur R&D

APPENDICE 4 : MÉTHODOLOGIE POUR LA CONSTRUCTION DES MATRICES

La construction des matrices se fait selon les étapes suivantes :

- identification des déterminants de l'exposition au formaldéhyde;
- identification des entreprises québécoises correspondant à l'activité économique choisie;
- cueillette d'information sur les niveaux d'exposition et les déterminants;
- identification des axes de la matrice;
- transformation des données brutes d'exposition en paramètres statistiques et
- établissement de la matrice.

Identification des déterminants de l'exposition au formaldéhyde

La première étape de la démarche consiste, à travers une revue exhaustive de la littérature technique, à comprendre intimement la nature des divers procédés ou activités des classes économiques du secteur. Cette recherche permet d'identifier les paramètres responsables de l'émission du formaldéhyde dans le milieu de travail et ceux affectant l'exposition des travailleurs au contaminant. Si nécessaire, des observations sur le terrain permettent de confirmer ou d'infirmer la validité des choix établis à partir de la littérature. Cette démarche permet aussi de mieux comprendre les critères utilisés pour classifier les entreprises dans le secteur d'activité et pour les distinguer entre elles selon les procédés ou activités d'intérêt.

Identification des entreprises québécoises correspondant à l'activité économique choisie

Cette étape vise à répertorier les entreprises québécoises appartenant réellement au secteur d'activité choisi. Ceci est essentiel pour déterminer la population réelle d'entreprises et de travailleurs potentiellement exposés.

Le découpage et la description des secteurs d'activité économique relèvent des organismes publics de statistiques. On peut trouver actuellement utilisés au Québec trois systèmes de classification des activités économiques : la « Classification des activités économiques du Québec » de 1984 (CAEQ) (2), la « Classification type des industries – 1980 » (CTI) (3) et le « Système de classification des industries de l'Amérique du Nord : Canada 1997 » de (SCIAN) (4). De nombreux organismes classifient les entreprises notamment la CSST, le Centre de recherche industrielle du Québec (CRIQ), le Ministère du Développement économique et régional, Industrie Canada, Statistiques Canada.

Le répertoire final des entreprises utilisé est constitué des diverses sources d'information disponibles.

Cueillette d'information sur les niveaux et les déterminants de l'exposition

Une revue exhaustive de la littérature scientifique permet d'identifier tous les articles contenant des données d'exposition accompagnées d'information sur les différents déterminants soit les

procédés industriels, les professions des personnes évaluées, les niveaux de production, etc.. Cette revue permet d'identifier les procédés ou activités qui peuvent servir de découpage supplémentaire du secteur d'activité économique pour distinguer une population de travailleurs exposés d'une autre.

Une grille terrain d'observation peut être utilisée afin de systématiser la collecte des déterminants dans les entreprises visitées et d'en valider la pertinence. Elle est composée d'éléments généraux s'appliquant à tous les secteurs d'activité économique et d'éléments propres au secteur visé. Parmi les éléments généraux on retrouve des sections sur les *Éléments d'architecture de l'établissement*, la *Ventilation générale de l'établissement*, les *Programmes d'évaluation de l'exposition et de la protection respiratoire*, la *Formation*, certains éléments pertinents à chaque poste de travail tels les *Matières premières entreposées et contenant du formaldéhyde*, les *Produits finis entreposés et contenant du formaldéhyde*, les *Sources d'émission de formaldéhyde dans l'atmosphère*, les *Systèmes de ventilation par aspiration à la source*, les *Salles de contrôle*, certains *Éléments pertinents à chaque profession / corps de métier* et des éléments concernant l'*Équipement de protection respiratoire*. Parmi les éléments propres au secteur, on retrouve *l'Identification des procédés de l'établissement*, les *Différentes professions / différents corps de métier dans l'établissement*, une description précise des *Matières premières contenant du formaldéhyde* et les *Paramètres généraux de production*. Cette grille permet entre autres d'obtenir, sur un échantillon représentatif des établissements d'un secteur, la distribution des travailleurs selon la liste des professions. La transformation des professions spécifiques en professions normalisées se fait en fonction des critères retenus lors de la saisie des données de la littérature.

Identification des axes de la matrice

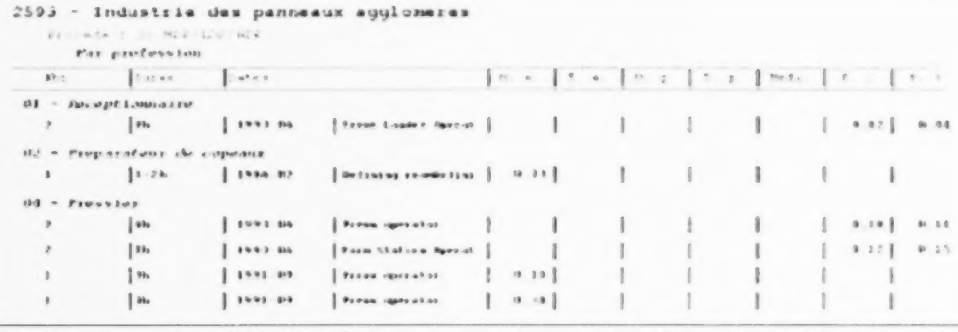
La matrice est constituée de trois axes. Le découpage par procédé ou activité constitue le premier axe. Les professions normalisées constituent le deuxième axe de la matrice. Les articles de littérature identifient des professions et des postes de travail dans un langage qui est propre aux auteurs des documents. La variété des termes utilisés et l'imprécision dans certaines descriptions rendent nécessaire le regroupement des diverses dénominations. Celui-ci permet de réduire les risques de classer un élément particulier dans le mauvais titre et augmente la puissance statistique en créant des ensembles de données plus grands. Dans le cas des professions, par exemple, les regroupements ont été faits de façon à mettre ensemble celles dont l'exposition au formaldéhyde peut être assimilée à un groupe à cause de la similarité de la zone de travail et d'activité. La capacité de prédire les impacts sanitaires demandaient de pouvoir distinguer entre cinq fourchettes d'exposition, soit HCHO $\leq$ 0,3 ppm, 0,3 < HCHO $\leq$ 0,75 ppm, 0,75 < HCHO $\leq$ 1 ppm, 1 < HCHO $\leq$ 2 ppm et finalement HCHO > 2 ppm. Ces fourchettes composent le troisième axe de la matrice.

Transformation des données brutes d'exposition en paramètres statistiques

Les données brutes d'exposition se retrouvent sous toutes sortes de formes numériques : valeurs uniques ou valeurs agrégées avec différents paramètres statistiques (moyenne arithmétique avec

ou sans écart-type, moyenne géométrique avec ou sans écart-type, médiane, ou fourchette) ; un exemple est présenté au tableau A5-1. Les méthodes de prélèvement et d'analyse sont variables, comme le sont les périodes et le nombre de prélèvements. Tous les déterminants ne sont pas toujours présents dans les documents consultés et le niveau de détail est très inégal. Il s'agit d'établir, à partir des données brutes, la moyenne (M.G. ou GM) et l'écart-type géométrique (É.G. ou GSD) pour chacune des professions normalisées. Plusieurs outils statistiques peuvent être utilisés en fonction des données disponibles. Les moyennes géométriques de certaines professions peuvent être estimées à partir de données d'expositions de professions normalisées jugées similaires concernant l'exposition.

Tableau A5-1
Données d'exposition de la littérature regroupées par profession normalisée



M.a. : Moyenne arithmétique É.a. : Écart type arithmétique M.g. : Moyenne géométrique

É.g. : Écart type géométrique Médi. : Médiane F.(et F.) : Limite inférieure et supérieure de la fourchette

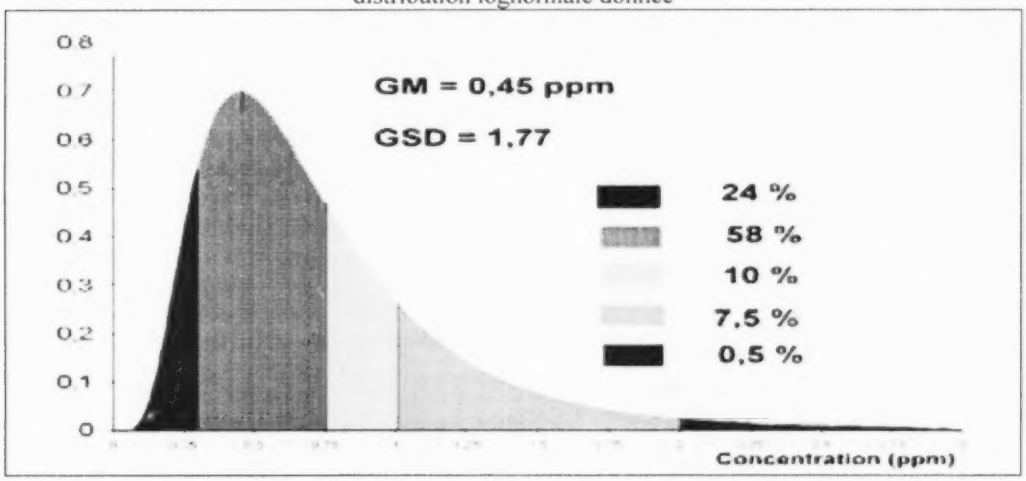
Établissement de la matrice

Une fois que la moyenne géométrique (M. G. ou GM) et l'écart-type géométrique (É.G. ou GSD) de la distribution des expositions sont déterminés pour chaque profession dans chaque procédé, on élabore la matrice qui fournit, pour chaque profession, les pourcentages de la population dans chaque catégorie d'exposition (< 0,3 ppm, 0,3-0,75 ppm, 0,75-1 ppm, 1-2 ppm, > 2 ppm). Pour ce faire, les propriétés mathématiques de la distribution lognormale sont utilisées. Ainsi, un tableur (p. ex. Microsoft Excel[MD]) permet de déterminer à quel percentile[2] d'une distribution lognormale correspond une valeur numérique donnée si l'on connaît les paramètres qui définissent cette distribution (M.G. et É.G.).

[3] Le X[ième] percentile d'une distribution représente la valeur en dessous de laquelle X % de la population est retrouvée. Par exemple, le 50[ième] percentile d'une distribution représente la médiane de cette distribution puisque 50 % de la population est en dessous de cette valeur et donc 50 % est au dessus.

Pour chaque profession, M.G. et É.G permettent donc de savoir à quels percentiles correspondent les valeurs 0,3, 0,75, 1 et 2. Par simple soustraction on obtient ensuite le pourcentage de la population situé dans les différentes catégories. À titre d'illustration, si 0,3 est le 10[ieme] percentile et 0,75 le 25[ieme], cela signifie que 10 % de la population possède une exposition inférieure à 0,3, que 25 % de la population possède une exposition inférieure à 0,75, et donc que 25-10=15 % de la population possède une exposition située entre 0,3 et 0,75. Il suffit ensuite de multiplier les pourcentages obtenus par le nombre de travailleurs dans chaque profession pour obtenir les populations de travailleurs dans chaque catégorie. Un exemple d'une distribution est présenté à la figure A5-1.

Figure A5-1
Illustration de la distribution du pourcentage de travailleurs par plage de concentration dans une distribution lognormale donnée



Les experts révisent la distribution selon leur connaissance des procédés ou activités du secteur, de l'applicabilité des publications consultées et des conditions actuelles au Québec.